

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR

M. Maurice de BROGLIE.

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR LES CENTRES ÉLECTRISÉS DE FAIBLE
MOBILITÉ DANS LES GAZ.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le //décembre 1908, devant la Commission d'Examen.

MM. BOUTY,	<i>Président.</i>
HALLER,	{ <i>Examineurs.</i>
J. PERRIN,	

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1908

Digitized by the Internet Archive
in 2026

DE A, N° 587

D'ORDRE :

1317.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR

M. Maurice de BROGLIE.

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR LES CENTRES ÉLECTRISÉS DE FAIBLE
MOBILITÉ DANS LES GAZ.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 11 décembre 1908, devant la Commission d'Examen.



MM. BOUTY, *Président.*
HALLER, *Examineurs.*
J. PERRIN, }

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1908

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS.

	MM.	
Doyen	P. APPELL, Professeur..	Mécanique rationnelle.
Doyen honoraire.....	G. DARBOUX.....	Géométrie supérieure.
Professeurs honoraires.	L. TROOST.	
	CH. WOLF.	
	J. RIBAN.	
	LIPPMANN.....	Physique.
	BOUTY.....	Physique.
	BOUSSINESQ.....	Physique mathématique et Calcul des probabilités.
	PICARD.....	Analyse supérieure et Algèbre sup.
	H. POINCARÉ.....	Astronomie mathématique et Mécanique céleste.
	YVES DELAGE.....	Zoologie, Anatomie, Physiol. compar.
	G. BONNIER.....	Botanique.
	DASTRE.....	Physiologie.
	KENIGS.....	Mécanique phys. et expérimentale.
	VELAIN.....	Géographie physique.
	GOURSAT.....	Calcul différentiel et Calcul intégral.
	CHATIN.....	Histologie.
	PELLAT.....	Physique.
Professeurs.....	HALLER.....	Chimie organique.
	JOANNIS.....	Chimie (Enseignement P. C. N.).
	P. JANET.	Physique (Enseignement P. C. N.).
	WALLERANT.....	Minéralogie.
	ANDOYER.....	Astronomie physique.
	PAINLEVÉ.....	Mathématiques générales.
	HAUG.....	Géologie.
	TANNERY.....	Calcul différentiel et Calcul intégral.
	RAFFY.....	Applicat. de l'Analyse à la Géométrie.
	HOUSSAY.....	Zoologie.
	LE CHATELIER.....	Chimie.
	GABRIEL BERTRAND...	Chimie biologique.
	M ^{me} P. CURIE.....	Physique.
	N.....	Zoologie, Anatomie, Physiol. compar.
	N.....	Chimie.
	N.....	Zoologie, Évolution des êtres organisés.
	PUISEUX.....	Mécanique et Astronomie.
	LEDUC.....	Physique.
	HADAMARD.....	Calcul différentiel et Calcul intégral.
	MATRUCHOT.....	Botanique.
Professeurs adjoints....	MICHEL.....	Minéralogie.
	BOUVEAULT.....	Chimie organique.
	BOREL.....	Théorie des fonctions.
	PRUVOT.....	Anatomie comparée.
	CAULLERY.....	Zoologie, Évolution des êtres organisés
Secrétaire.....	A. GUILLET.	

A

MONSIEUR P. LANGEVIN.

PREMIÈRE THÈSE.

RECHERCHES

SUR LES

CENTRES ÉLECTRISÉS DE FAIBLE MOBILITÉ

DANS LES GAZ.

INTRODUCTION.

La théorie de l'ionisation des gaz est à présent devenue trop classique pour qu'il soit nécessaire d'en exposer ici les principes et les conséquences. Aussi rappellerons-nous seulement que les centres électrisés, qui constituent les véhicules de l'électricité dans les gaz rendus conducteurs par les radiations des corps actifs et les rayons de Röntgen, possèdent une *mobilité*, ou vitesse dans un champ de 1 volt par centimètre, qui atteint l'ordre du centimètre par seconde avec un léger avantage au profit des ions négatifs.

On conçoit généralement que ces ions sont produits par une désagrégation des molécules gazeuses, soumises soit à un bombardement corpusculaire, soit à une perturbation électromagnétique soudaine et intense. La molécule gazeuse serait alors scindée en deux parties contenant des charges égales et contraires autour desquelles vient se grouper par attraction électrostatique un cortège de

molécules neutres ordinaires. On regarde aussi généralement le fragment positif comme renfermant presque toute la masse de la molécule primitive, tandis que le fragment négatif n'est qu'un corpuscule de masse au moins mille fois moindre; mais le cortège moléculaire une fois formé donne à chaque ensemble des dimensions comparables et de l'ordre de quelques rayons moléculaires. On s'explique ainsi la presque égalité des mobilités à la température ordinaire. Nous désignerons avec M. Langevin, sous le nom de *petits ions*, cet ensemble, centre et cortège, se déplaçant dans un champ unité avec une vitesse d'environ 1^{cm} par seconde.

Une nombreuse série de cas d'ionisation : corps radioactifs, rayons de Röntgen, rayons de Lénard et rayons canaux, phénomènes électro-optiques de Hertz, etc., fournit des petits ions de ce genre qui paraissent complètement identiques entre eux. Ce sont les plus importants et ce furent les premiers étudiés, surtout à cause des phénomènes de radioactivité et de l'intérêt qui s'est attaché aux rayons de Röntgen.

Cependant l'examen d'un certain nombre d'autres cas de conductibilité gazeuse montra qu'on avait alors affaire à des centres électrisés de mobilité d'un tout autre ordre de grandeur.

Les ions étudiés par M. Bloch dans l'air chargé de ce qu'on appelle l'*émanation du phosphore*, les centres électrisés qui donnent aux gaz de flamme leur énorme conductibilité, présentent une mobilité qui peut descendre jusqu'au $\frac{1}{300}$ de millimètre dans un champ de 1 volt par centimètre, et cette faible valeur de la mobilité, en rendant lentes la recombinaison et la diffusion, donne une stabilité relative à l'état conducteur de ces gaz.

M. Bloch, étudiant les ions émis par la flamme du gaz d'éclairage, a mesuré des mobilités décroissantes à mesure que le gaz se refroidit et qu'il vieillit. Ces mobilités tendent

vers une limite qui est précisément de l'ordre de celle trouvée précédemment pour les ions du phosphore.

A ces cas d'ionisation, il faut ajouter les gaz récemment préparés par voie électrolytique ou chimique et ceux qui viennent d'être détendus ou de barboter dans des solutions salines.

Enfin, M. Langevin a signalé la présence, dans l'air atmosphérique normal, d'une conductibilité attribuable à des centres électrisés à mobilité de cet ordre et leur a donné le nom de *gros ions*, en indiquant qu'ils provenaient peut-être de l'évaporation incomplète de gouttelettes d'eau.

Avec l'hypothèse généralement admise, où l'on attribue à tous les ions la même charge électrique, la différence des mobilités ne peut tenir qu'à la différence des masses matérielles des centres.

On peut chercher à se faire une idée de leurs dimensions en employant la formule de Stokes, qui donne la vitesse de chute uniforme v d'une petite sphère de rayon a dans un milieu dont le coefficient de viscosité est σ :

$$\frac{4}{3}\pi a^3 g(D - d) = 6\pi\sigma av.$$

La validité de cette formule pour les très petits rayons a paru assez justement contestable. Mais des mesures récentes de M. Perrin, concernant la chute des granules colloïdaux de gomme gutte, ont vérifié la formule pour des rayons de l'ordre de $\frac{1}{10}$ de micron.

On déduit alors de la formule que le rayon varie en raison inverse de la mobilité et que, en supposant la densité de l'ion voisine de l'unité, pour des mobilités de l'ordre de $\frac{1}{100}$ de millimètre (gros ions), le diamètre de l'ion vaudrait 10^{μ} .

Il n'est pas sans intérêt de remarquer ici que les évaluations qu'on a pu faire des dimensions les plus faibles de quelque chose de matériel, ont conduit à des chiffres

de cet ordre. L'épaisseur limite des pellicules extrêmement minces d'huile sur l'eau, d'après les travaux de lord Rayleigh, Sohnke, Röntgen, Fischer, est de l'ordre de quelques $\mu\mu$. Il en est de même des pellicules solides minces qui peuvent se former à la surface des liquides (Melsens, Ramsden, Devaux, Metcalf) et des parois des bulles de savon (Plateau, Drude, Reinold et Rücker).

En observant les couleurs qui se succèdent pendant l'amincissement d'une lame liquide, on arrive à une tache noire qui correspond à l'épaisseur minima compatible avec la cohésion de la membrane. On a tenté, par divers procédés, de mesurer cette épaisseur, dans laquelle on peut distinguer deux couches superficielles et une portion centrale. Toutes les mesures ont conduit à l'ordre de grandeur de quelques $\mu\mu$. Au delà de cette limite on verrait disparaître les propriétés de la matière au sens ordinaire du mot. Les recherches les plus récentes attribuent au diamètre moléculaire une valeur de l'ordre de $0^{\mu\mu},1$. Il s'ensuit que les épaisseurs les plus minces vaudraient une centaine de diamètres moléculaires et les plus petites gouttes contiendraient au moins 10^6 molécules.

On a même pu prévoir l'ordre de grandeur de ces résultats en partant de considérations relatives à l'énergie potentielle de capillarité d'une lame mince étirée indéfiniment, et en faisant l'hypothèse que cette énergie ne peut dépasser l'équivalent de la chaleur de vaporisation.

Les granules en suspension dans les solutions colloïdales et qu'on n'entrevoit qu'en employant des procédés de diffraction ultra-microscopiques ont des diamètres figurés par des nombres du même ordre.

D'autre part, nous avons vu que les petits ions sont regardés comme ayant une grosseur de l'ordre des dimensions moléculaires.

La manière la plus naturelle d'envisager les centres électrisés de faible mobilité est donc de se les représenter

comme une agglomération matérielle relativement considérable portant une charge égale à celle des petits ions ou de l'atome d'hydrogène dans l'électrolyse, soit $3,4 \cdot 10^{-10}$ unité électrostatique (1). On pourrait alors essayer de reproduire de tels ions par l'union d'un centre matériel neutre de l'ordre de grandeur voulu et d'un petit ion.

C'est l'idée qui a servi de guide à la première partie des recherches qui suivront.

De pareilles conditions peuvent en effet être considérées comme réalisées dans les cas où la mesure des mobilités classe les centres électrisés parmi les gros ions.

Ainsi, l'air qui a passé sur du phosphore renferme des poussières visibles avec certaines précautions d'éclairage. Dans la plupart des flammes, il se forme des composés liquides ou solides qui se condensent dans le gaz refroidi. Enfin les phénomènes de barbotage et d'écrasement de gouttes que nous étudierons plus loin ne vont jamais sans une sorte de pulvérisation qui peut fournir des centres matériels.

Quant à la charge élémentaire, elle est produite par l'action chimique dans le premier de ces cas et probablement aux dépens des ions électrolytiques ou des couches doubles dans le dernier. Quoi qu'il en soit, les produits matériels, s'ils sont solides ou liquides, peuvent se condenser autour des petits ions qui leur serviraient de noyau, ou les attirer après coup à cause de leur charge électrique. Il est clair que dans ces conditions le noyau matériel n'aura guère de chances d'attirer plus d'un ion, puisque déjà chargé une fois il repousse les charges de même signe.

Nous donnons plus loin (p. 7) une théorie appropriée de ce mécanisme; mais il faut remarquer ici que des expé-

(1) De récentes mesures tendent à faire adopter un nombre légèrement supérieur et voisin de $4 \cdot 10^{-10}$ (Rutherford, Perrin, 1908).

riences très nettes, dont on trouvera le détail dans la suite de ce Mémoire, ont permis de mettre directement en évidence l'existence de centres neutres susceptibles de se transformer en gros ions sous l'influence des petits ions du radium ou des rayons X, et fournissent ainsi une base solide à la conception qui vient d'être exposée.

ORDRE DES CHAPITRES QUI VONT SUIVRE (RÉSUMÉ).

Nous croyons utile de résumer ici l'ordre des Chapitres qui vont suivre, tant au point de vue de la clarté de l'exposition que pour faire ressortir l'unité de l'ensemble.

Nous résumerons d'abord une théorie due à M. Langevin sur la production de gros ions dans un gaz par suite de la présence simultanée de particules neutres et de petits ions. Nous ne nous sommes pas proposé de vérifier quantitativement les résultats de cette théorie : les conditions mathématiques qu'elle suppose sont assez loin d'être réalisées en pratique. Nous avons pensé néanmoins qu'il était intéressant de la rapprocher des faits établis dans ce travail, particulièrement au point de vue de la possibilité d'un équilibre entre les nombres des centres neutres et des centres chargés.

Nous étudierons ensuite un certain nombre de phénomènes, très différents les uns des autres, mais présentant ce caractère commun de donner naissance à des agglomérations matérielles chargées ou non et restant en suspension dans le gaz.

Nous examinerons ainsi :

1° Les gaz obtenus à l'aide d'un dispositif permettant de reproduire et de varier à volonté les circonstances qui se présentent dans les flammes (haute température, combinaison chimique);

2° Deux types de gaz conducteurs (gaz de flamme et gaz d'étincelle) renfermant, à côté de centres chargés, des

centres neutres dont nous avons montré l'existence et étudié les propriétés.

Les propriétés des gaz ayant barboté dans des liquides variés nous permettront ensuite de mettre en évidence les intéressantes particularités de ce phénomène et le rôle important qu'y jouent les centres neutres.

Enfin un dernier Chapitre sera consacré à l'étude individuelle, *par vision directe*, des centres chargés ou non en suspension dans le gaz.

CHAPITRE PREMIER.

Théorie de la charge des centres neutres.

Les expériences décrites dans ce travail nous conduiront souvent à envisager le cas d'un gaz où se trouvent à la fois des centres neutres en suspension et des petits ions. On peut imaginer qu'alors les particules neutres (que nous supposerons relativement grosses) attireront les charges électriques et tendront à les fixer.

M. Langevin, en signalant les ions de faible mobilité de l'air atmosphérique, a jeté les bases d'une théorie que nous allons exposer et qui permet précisément de prévoir ce qui se passera dans un pareil cas.

Considérons un gaz ne renfermant d'abord que des centres neutres (tel, par exemple, que celui qui sort de la flamme du gaz d'éclairage et qui a passé dans un condensateur destiné à arrêter les centres chargés qu'il contenait). Soumettons-le à une radiation (rayons de Röntgen ou du radium) capable d'y produire de petits ions.

Soient, pour 1^{cm}³ du gaz :

M le nombre total des gros centres présents ;

p et n les nombres des petits ions (positifs et négatifs maintenus dans le gaz par la radiation ;

P et N les nombres des gros centres électrisés (positifs et négatifs au moment de l'équilibre.

Pour calculer P et N, nous écrirons qu'au moment de l'équilibre, le nombre des centres neutres qui se chargent par rencontre avec des petits ions d'un certain signe, est égal au nombre des gros centres chargés du même signe qui disparaissent pendant le même temps par recombinaison soit avec un gros, soit avec un petit ion de signe contraire.

On aurait pour les ions positifs, par exemple, et pour l'augmentation de P :

$$(1) \quad dP = A[M - (P + N)]P,$$

en supposant que le nombre des rencontres soit proportionnel (avec un coefficient de proportionnalité A qui dépend des mobilités) à la fois au nombre p des petits ions chargeants et au nombre $M - (P + N)$ des gros ions actuellement neutres.

L'équation indiquant la diminution de P s'écrira de même

$$(2) \quad dP = BPn + \alpha PN,$$

α étant le coefficient de recombinaison des gros ions entre eux et B celui des gros ions positifs avec les petits ions négatifs.

En égalant ces deux expressions, nous aurons l'équation

$$(3) \quad A[M - (P + N)]P = BPn + \alpha PN,$$

qui exprimera l'équilibre.

On peut remarquer que α , coefficient de recombinaison des gros ions entre eux, est certainement très petit devant B, coefficient de recombinaison des gros et des petits ions. Si l'on admet que les coefficients de recombinaison sont proportionnels à la somme des mobilités des ions en présence, on voit en effet que α sera proportionnel à deux fois la mobilité des gros ions, et B à la somme des mobilités

des gros et des petits ions, c'est-à-dire à un nombre plus de mille fois supérieur. On pourra donc négliger le second terme du deuxième membre de (3) devant le premier tant que n ne sera pas trop petit, c'est-à-dire dès que l'ionisation en petits ions sera notable.

Supprimons donc αPN et faisons de plus $p = n$, ce qui est très sensiblement le cas de l'ionisation produite par les rayons de Röntgen et du radium. L'équation (3) devient

$$(4) \quad M - (P + N) = \frac{B}{A} P \text{ pour les ions positifs,}$$

$$(4') \quad M - (P + N) = \frac{B'}{A'} N \text{ pour les ions négatifs.}$$

Ces deux équations ne contiennent plus p ; elles expriment donc que le nombre des gros ions chargés tend à devenir indépendant de la radiation ionisante quand cette dernière devient considérable. Il s'établit un état d'équilibre qui détermine des valeurs limites de $\frac{P}{M}$ et $\frac{N}{M}$; on peut les tirer de (4) et (4').

L'ionisation d'un gaz contenant des gros centres neutres ou chargés (la théorie s'appliquerait aussi bien à ce dernier cas) prend donc, en présence d'une radiation telle que celle du radium ou des rayons de Röntgen, une valeur d'équilibre qui dépend *seulement* du nombre des gros centres.

Si le nombre des gros centres chargés dans le gaz antérieurement à la radiation était supérieur à cette limite, il sera réduit; s'il était inférieur, il devra augmenter.

Les équations (4) et (4') donnent $\frac{P}{M}$ et $\frac{N}{M}$ en fonction de A, A', B, B' , c'est-à-dire des mobilités; ce qu'on sait de ces coefficients conduit à attribuer à $\frac{P}{M}$ et $\frac{N}{M}$ une valeur numérique de l'ordre de $\frac{1}{10}$.

On peut aussi calculer $\frac{P}{N}$ par

$$\frac{P}{N} = \frac{B'A}{A'B};$$

en admettant la proportionnalité des coefficients A, B et A', B' à la somme des mobilités des ions qui se combinent, on aura

$$\frac{P}{N} = \frac{(\mu_1 + \mu')\mu_1}{(\mu_2 + \mu')\mu_2},$$

μ_1 mobilité des petits ions positifs,

μ_2 mobilité des petits ions négatifs,

μ' mobilité des gros ions.

Comme μ' est de l'ordre du millième de μ_1 ou μ_2 , on pourra écrire sensiblement

$$\frac{P}{N} = \frac{\mu_1^2}{\mu_2^2}.$$

Il y a donc avantage de nombre en faveur des ions de la plus grande mobilité; la mobilité des petits ions négatifs étant légèrement supérieure à celle des petits ions positifs, il devra y avoir un excès de gros ions négatifs.

Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que le gaz restait suffisamment longtemps exposé à une radiation uniforme pour que l'équilibre soit établi; il peut très bien n'en être pas ainsi, le temps nécessaire à l'établissement de cet équilibre étant relativement considérable.

CHAPITRE II.

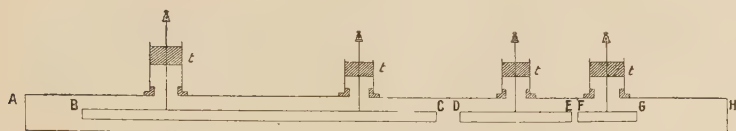
Dispositifs et appareils employés.

Nous avons constamment employé, dans les expériences qui vont suivre, des condensateurs cylindriques dont l'armature intérieure recueille les ions et transmet leur charge à l'électromètre.

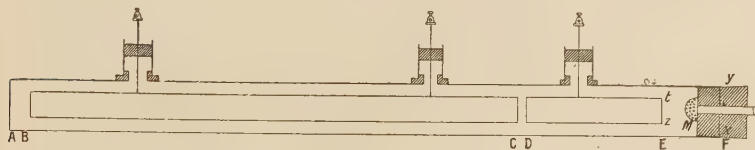
La figure 1 montre la disposition de ces instruments et donne les dimensions de quelques-uns d'entre eux. A l'intérieur circulaient les gaz aspirés par une trompe à

Fig. 1.

Isolant (ébonite). t , tubes de garde.



$AB = 12^{\text{cm}}$ $EF = 2^{\text{cm}}$ Diamètre intérieur gros tube 41^{mm} ; $\log \text{ nép } \frac{b}{a} = 1,62$.
 $BC = 130$ $FG = 1,5$ Diamètre extérieur électrodes 8^{mm} .
 $CD = 2$ $GH = 1,4$
 $DE = 25$



$AB = 22,5^{\text{cm}}$ $DF = 15^{\text{cm}}$ xy (intérieur) 47^{mm} (ext. 50) M arrivée du gaz :
 $BC = 140$ $EF = 22,5$ $2t$ (extérieur) 30^{mm} (int. 27) ajustage en
 $CD = 1$ $AF = 201,5$ pomme d'arrosoir :
 $\frac{b}{a} = 1,57$; $\log \text{ nép } \frac{b}{a} = 0,45$.

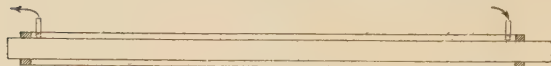
eau avec un débit qui pouvait atteindre 70^{cm^3} par seconde : une tourie de 80^{l} et deux manomètres à eau permettaient d'obtenir la constance du débit et d'en mesurer les variations.

Dans certaines expériences, il a été nécessaire d'arrêter les centres chargés en suspension dans le gaz ; nous avons employé dans ce but un condensateur cylindrique formé de deux tubes concentriques (*fig. 2*) assez longs pour qu'une différence de potentiel de 300 à 400 volts entre les armatures parvînt à dépouiller le gaz de toute conductibilité.

L'électromètre employé est un électromètre Curie à amortissement par l'air, réglé de façon à donner pour un volt une déviation de 30^{cm} sur une échelle à 1^{m} .

Une paire de quadrants est reliée d'une façon perma-

Fig. 2.



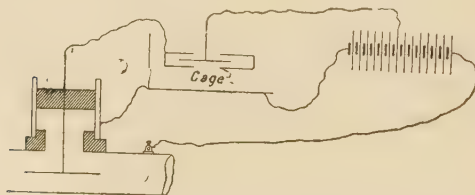
Condensateur d'arrêt.

Rayon du tube intérieur.....	15	a	} $\frac{b}{a} = 1,4; \quad \log \frac{b}{a} = 0,336.$
Rayon intérieur du tube extérieur.	21	b	
Capacité par unité de longueur...	1,49		
Longueur totale.....	1,32		

Mobilités que ce condensateur peut arrêter avec 300 volts et un débit de 40^{cm^3} sec : 6×10^{-5} cm (gros ions : 3×10^{-4} cm).

nente à la cage; l'aiguille est maintenue à un potentiel constant; l'autre paire de quadrants communique avec l'une des armatures d'un des condensateurs cylindriques; elle est reliée primitivement à la cage et peut être isolée au moment des mesures (*fig. 3*).

Fig. 3.



Pour fixer les idées sur les quantités d'électricité mises en jeu, nous dirons que, par exemple, avec l'un des condensateurs employés, 1^{cm} d'échelle correspondait à l'arrivée d'une quantité d'électricité égale à 0,04 unité C.G.S. électrostatique.

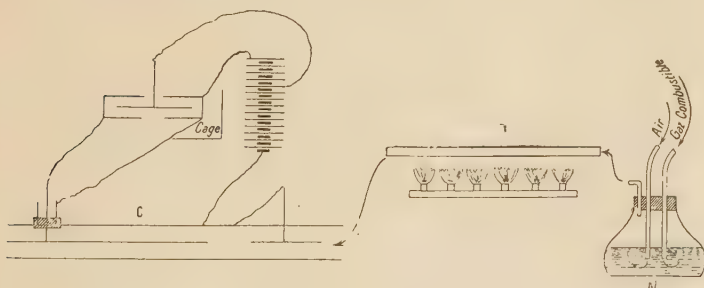
CHAPITRE III.

Centres électrisés produits par le passage, dans un tube chauffé au rouge, d'un mélange d'air et d'un gaz combustible.

Nous avons d'abord cherché à réaliser, par un appareil spécial, les conditions : combinaison chimique, haute température, formation de produits condensables, que réunissent les flammes usuelles et dont le résultat est de communiquer une forte conductibilité aux gaz qui en sortent avec des centres de mobilité faible. Pour cela, nous avons fait passer dans un tube chauffé au rouge un courant d'air mêlé de quelques bulles d'hydrogène ou de gaz d'éclairage.

Le dispositif expérimental comportait une colonne desséchante de 3^m de longueur, remplie de ponce sulfurique soigneusement préparée, puis une colonne de coton de 0^m,50 de longueur, destinée à arrêter complètement les poussières de l'air, celles provenant du desséchant, ainsi que toute trace de conductibilité gazeuse.

Fig. 4.



A la suite (*fig. 4*) venait un flacon mélangeur M contenant un peu d'acide sulfurique où plongeaient deux tubes de verre d'assez gros diamètre amenant, l'un l'air

provenant du desséchant, l'autre le gaz à mélanger ayant subi une purification analogue à celle de l'air.

Dans ces conditions, l'influence ionisante du barbotage peut être considérée comme complètement évitée, ce dont il est facile, du reste, de s'assurer.

La quantité de gaz est évaluée par le nombre de bulles passant en une seconde (0,2 à 2 ou 3, suivant les expériences) et la constance de ce débit est contrôlée par un manomètre en dérivation du genre Töpler.

Le mélange gazeux est ensuite dirigé dans un tube T, en terre vernissée sur les deux faces, chauffé par une rampe à gaz; de là, il traverse une certaine longueur de canalisation pour se refroidir et entre dans un long condenseur cylindrique C muni de plusieurs électrodes axiales isolées et pourvues d'anneaux de garde.

Ceci fait, il a encore fallu, avant d'arriver à des résultats tout à fait nets, éviter une cause d'erreur qui provient du tube chauffé. Si les parois de ce dernier ne sont pas absolument propres et sèches ou si une écaillure du vernis leur donne une porosité qui retient l'eau davantage, elles peuvent fournir longtemps, pendant la chauffe, des traces de vapeur d'eau qui introduisent un élément de perturbation dont je parlerai plus loin.

MARCHE D'UNE EXPÉRIENCE.

L'appareil étant bien desséché et mis en marche, on vérifie qu'aucune ionisation notable n'existe dans le gaz quand le robinet amenant l'hydrogène est fermé.

On laisse alors passer bulle à bulle ce dernier gaz et l'on constate que, pour une proportion d'à peine quelques millièmes en volume, il apparaît une forte conductibilité, sensiblement égale pour les ions des deux signes.

Voici, pour en donner une idée, un exemple de résultats numériques obtenus :

Heures.	Bulles par seconde.	Temps pour 1 ^{cm} d'échelle.
^h ^m ^s		
4.30	0	200
4.31	1	27
4.37	1	24
4.37.5	fermé H	
4.39.5	0	150
	ouvert H	
4.42	1	30
4.43	1	22
4.44	1	22
4.44.5	fermé H	
4.45.5	0	150
4.47	ouvert H	
4.48.5	1	30
4.52.5	1	32
4.53	fermé H	
4.54.5	0	150

Dans cette expérience, la proportion d'hydrogène était d'environ $\frac{8}{1000}$ en volume.

En augmentant la proportion de gaz combustible, la conductibilité augmente rapidement et devient très forte au voisinage des proportions explosives.

Remarques. — Il peut être intéressant de noter ici que l'eau formée par l'hydrogène et l'air dans ces conditions présente généralement, avec l'empois d'amidon ioduré, la réaction caractéristique du bioxyde d'hydrogène.

C'est un fait bien connu que la formation d'eau oxygénée dans des réactions de ce genre (*voir* MOISSAN, *Chimie générale*, t. I, p. 26). J'ai simplement voulu indiquer que la production de ce corps a bien lieu dans les conditions particulières de ces expériences. On sait qu'on a cherché à attribuer à l'eau oxygénée des propriétés radioactives, surtout à cause de son action à distance sur les plaques photographiques; mais tout a du reste semblé

indiquer qu'il n'y a là qu'un phénomène purement chimique.

L'expérience a été faite ensuite dans des conditions inverses, c'est-à-dire en opérant sur un courant d'hydrogène mélangé à quelques bulles d'air. Elle a donné des résultats absolument analogues. J'ai aussi cherché à voir si la formation de l'eau par la réduction, au moyen d'un courant d'hydrogène, de la tournure de cuivre oxydée rendrait un gaz conducteur. Il n'y a pas d'ionisation, mais ce fait peut s'expliquer par la diffusion intense des ions sur le filtre métallique chaud formé par le cuivre réduit, diffusion qui fait disparaître très rapidement la conductibilité.

L'intensité de l'ionisation obtenue varie beaucoup avec la façon dont la chauffe est répartie sur le tube de terre. Les conditions les plus favorables paraissent réalisées lorsque, en suivant le sens du courant gazeux, on trouve d'abord une partie moyennement chauffée, puis une plus fortement, suivie d'une région froide.

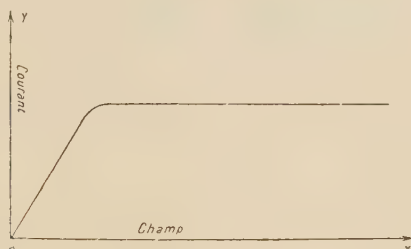
MOBILITÉS.

Puisque le passage, dans un tube chauffé au rouge, d'un courant d'air mélangé de quelques bulles d'hydrogène ou de gaz d'éclairage communique une conductibilité au gaz sortant, on est conduit à voir si cette conductibilité est attribuable à des ions et à mesurer leur mobilité.

L'appareil employé dans ce but est toujours le condensateur cylindrique à électrodes intérieures. La forme des courbes obtenues en n'employant qu'une seule électrode et en représentant les courants en fonction des différences de potentiel (*fig. 5*) montre bien qu'on a affaire à une ionisation et non à une convection, puisqu'on retrouve l'allure connue des courbes de saturation où le courant tend vers une limite quand on fait croître le champ électrostatique.

Quant à la mobilité, elle est déterminée par l'abscisse du point anguleux de la courbe de Zélény (*fig. 6*). Les valeurs obtenues sont très inférieures aux mobilités des petits ions et rapprochent les ions étudiés des ions de flamme. On observe que la mobilité varie avec la propor-

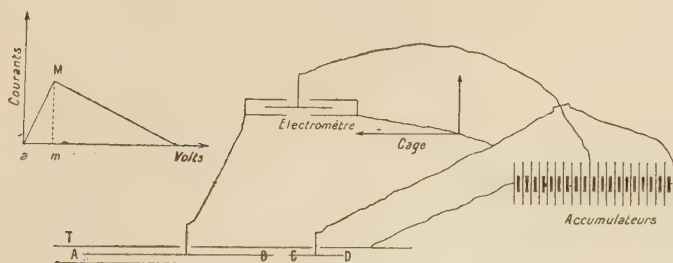
Fig. 5.



tion d'hydrogène en diminuant quand on augmente la quantité de ce corps. Le fait s'explique aisément. On

Fig. 6.

Mesure de mobilité. — Méthode de Zélény.



$$\begin{aligned} AB &= l \\ CD &= l' \end{aligned} \quad \text{mobilité } K = \frac{U \log \frac{b}{a}}{2\pi(l + l')V}$$

U débit gazeux.

b, a diamètres du tube T et des électrodes AB et CD.

Abscisse de M = $om = V$.

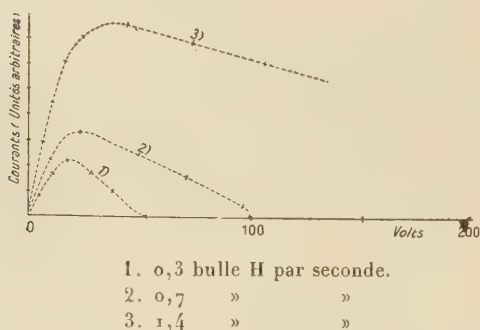
comprend que la grosseur des centres formés soit plus considérable quand la masse d'eau qui se condense est elle-même plus forte.

La figure 7 montre trois courbes obtenues pour trois valeurs différentes de la proportion d'hydrogène. On voit non seulement que la mobilité diminue, mais qu'elle est de moins en moins bien définie en allant de la courbe 1 à la courbe 3.

Ces courbes, obtenues avec des gaz refroidis, mais peu éloignés de leur formation, donnent des mobilités tout à fait comparables à celles que fournissent dans les mêmes conditions les gaz de la flamme.

La teneur en hydrogène, et par suite la quantité de

Fig. 7.



vapeur d'eau formée, influe non seulement sur la mobilité, et par conséquent sur la grosseur des gouttes, mais aussi sur leur nombre, l'intensité d'ionisation croissant, toutes choses égales d'ailleurs, de la courbe 1 à la courbe 3.

CHAPITRE IV.

Combustion de l'oxyde de carbone.

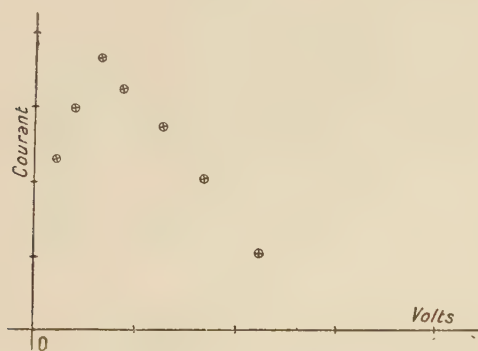
D'après les idées que nous avons exposées sur le mécanisme de formation des gros ions, il ne doit pas se former de tels centres dans les ionisations où aucun produit solide ou liquide ne vient se condenser au sein du gaz.

C'est le cas, par exemple, du gaz sortant de la flamme de l'oxyde de carbone brûlant dans un excès d'air. Nous avons commencé par suivre la même disposition que précédemment, mais en remplaçant l'hydrogène par l'oxyde de carbone.

Les premières expériences nous montrèrent une conductibilité notable, malgré les précautions prises pour purger l'air et l'oxyde de carbone d'humidité ou de poussières pouvant servir de véhicules aux charges électriques.

La cause d'erreur provenait des parois du tube chaud, parois toujours susceptibles, malgré la chauffe et le vernis, de retenir une petite quantité d'eau, et qui en empruntaient en fait à la vapeur formée dans les expériences précédentes. Cette petite couche d'eau, nous le verrons

Fig. 8.



Courbe de Zélény relative à l'oxyde de carbone
(avec traces d'humidité).

plus loin avec plus de détails, fournit à une température suffisante d'excellents véhicules où se fixent les petits ions provenant de la combinaison chimique de l'oxyde de carbone et de l'oxygène. Il faut chauffer les tubes très fortement et très longtemps dans un courant d'air sec pour les débarrasser de ce dépôt d'humidité.

La conductibilité obtenue quand cette purification est mal réalisée peut donner lieu à quelques remarques, qui s'expliquent lorsqu'on songe que la quantité de matière disponible pour servir de centres est très faible par rapport au nombre des charges électriques présentes. La courbe de Zélény montre qu'alors la mobilité est très bien déterminée (*fig. 8*), qu'elle est relativement assez grande ($0^{\text{cm}}, 05$) et qu'elle ne *dépend pas* des proportions d'oxyde de carbone.

Revenons au cas où le tube à chauffer est bien dépouillé de toute couche volatile. On constate alors que *l'air sec et filtré, mélangé d'oxyde de carbone sec et filtré, ne prend pas de conductibilité stable par la combinaison des gaz*. Il y a cependant des charges libres; elles se manifestent, en effet, en formant des gros ions quand, par exemple, on admet de l'air non filtré.

FLAMME D'OXYDE DE CARBONE.

Les résultats précédents faisaient prévoir qu'une flamme véritable d'oxyde de carbone, brûlant dans de l'air bien sec et filtré, et en l'absence de toute source de véhicules condensables, ne donnerait pas d'ions de faible mobilité comme ceux que fournissent les flammes ordinaires, dans

Fig. 9.



lesquelles il y a toujours formation d'eau et souvent mise en liberté de carbone divisé.

L'expérience a été réalisée avec un tube de verre large de 2^{cm} , disposé comme l'indique la figure 9 et portant

une partie élargie à 7^{cm} qui sert de chambre de combustion.

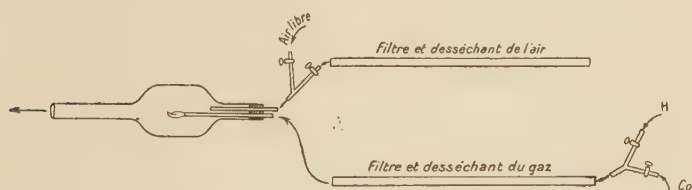
Ce tube est plongé dans un réfrigérant rempli d'eau froide pour éviter l'effet d'une température trop élevée qui, en exagérant la diffusion des ions, pourrait le empêcher de parvenir jusqu'à l'appareil de mesure et masquer ainsi un effet de conductibilité s'il existait. L'échauffement des parois est du reste, par les traces de vapeur qu'il peut fournir, une source continue de perturbations.

L'oxyde de carbone brûle au bout d'un tube de plomb t_1 , bien nettoyé et doit donner une flamme franchement bleue dont la variation de couleur est souvent un bon moyen de reconnaître la présence d'impuretés ou de poussières.

L'air amené par le tube t_2 peut à volonté être pris sur une canalisation desséchante et filtrante, ou bien être puisé directement dans l'atmosphère; enfin un branchement sur la canalisation d'oxyde de carbone permet de mélanger le courant de ce gaz de quelques bulles d'hydrogène.

Le passage des gaz est donné par le schéma suivant (fig. 10) :

Fig. 10.



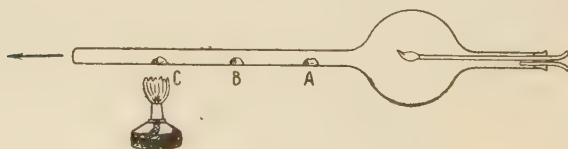
On ne recueille pas de charge quand les parois sont bien propres et que les gaz sont desséchés et filtrés; au contraire, si l'air est puisé directement dans l'atmosphère, la conductibilité se manifeste aussitôt avec les caractères des ions de faible mobilité; il en est de même, et d'une façon beaucoup plus intense, si, en employant de nouveau

de l'air sec et filtré, on mélange à l'oxyde de carbone quelques bulles d'hydrogène.

Pour mettre en évidence d'une façon régulière et un peu prolongée la formation de gros ions par la présence simultanée, dans le gaz, de la flamme d'oxyde de carbone qui ne produit pas de gros centres par elle-même, et d'agglomérations matérielles neutres, on peut suspendre au voisinage de la flamme un petit panier de treillage contenant des fragments de pierre ponce humide; la conductibilité apparaît alors et d'une façon assez régulière pour se prêter à une mesure approximative de la mobilité qu'on trouve encore analogue à celle des gaz de flamme.

La chauffe d'un corps poreux humide dans la région où passent les gaz récemment extraits de la flamme d'oxyde de carbone permet de reconnaître que cette flamme produit des ions à recombinaison rapide, et de constater, en chauffant un peu de ces corps en des régions A, B, C d'un tube (*fig. 11*), la disparition progressive de ces petits ions à mesure qu'on s'éloigne de la flamme.

Fig. 11.

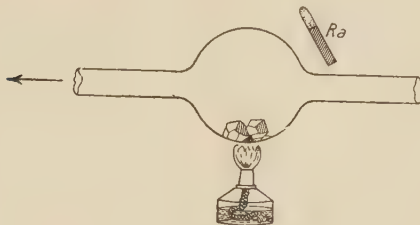


Les expériences de ce genre peuvent être variées de différentes manières; mais un cas particulièrement intéressant est fourni par la chauffe d'un corps poreux humide en présence des radiations du radium ou des rayons de Röntgen.

Un peu de ponce humide est mis dans un tube de verre assez large (3^{cm} à 4^{cm}) pour éviter une trop grande diffusion, à une distance des appareils telle qu'il ne puisse pas y avoir d'action directe du radium (*fig. 12*).

On chauffe à la lampe à alcool, et il est facile de montrer que la chauffe en présence du radium produit des ions de faible mobilité, tandis que la chauffe seule ne produit

Fig. 12.



rien et le radium non plus, si l'on a pris les précautions nécessaires pour ne pas être influencé par ses petits ions.

Les rayons de Röntgen peuvent être substitués au radium. Ces radiations jouent donc un rôle analogue à celui de la flamme d'oxyde de carbone, à la différence que celle-ci donne des gros ions avec l'air atmosphérique non filtré, ce qu'on peut vraisemblablement attribuer aux produits de la combustion des poussières.

On peut même obtenir avec de l'air humide et filtré un gaz contenant des gros centres électrisés sans qu'il soit nécessaire de le soumettre à aucune radiation ionisante; il suffit de faire passer l'air dans un tube de grès chauffé au rouge vif et contenant des fragments de pierre ponce. Ce résultat s'explique par la dissociation qu'éprouve la vapeur d'eau dans ces conditions et qui nous ramène au cas des combinaisons chimiques envisagé plus haut. La très haute température qu'exige le phénomène pour se produire rend cette explication plus vraisemblable que celle qui consisterait à faire intervenir les ions émis par les corps incandescents.

CHAPITRE V.

Centres neutres.

Les gaz issus des flammes usuelles, par exemple de la flamme du gaz d'éclairage, sont conducteurs et les ions qu'ils renferment ont une mobilité de $\frac{1}{300}$ de millimètre. Nous venons de démontrer qu'on peut produire un gaz jouissant de propriétés conductrices analogues en lui fournissant à la fois les éléments, *agglomérations matérielles neutres et petits ions*, dont la réunion forme un gros ion. Mais la théorie exposée page 7 conduit à penser qu'on peut s'attendre à trouver, à côté des gros ions chargés, un nombre relativement considérable de centres analogues non chargés.

Nous avons indiqué (p. 23) un moyen de reconnaître la présence de particules neutres en suspension dans un gaz en les soumettant à l'action des rayons Röntgen ou du radium qui les transforment en gros ions, décelables par les procédés électriques ordinaires. Nous en indiquerons plus loin un second basé sur un principe totalement différent : c'est l'intensité particulière d'ionisation acquise en barbotant dans les solutions aqueuses par les gaz qui renferment des centres neutres. Nous allons appliquer le premier moyen de recherche aux gaz ordinaires de flamme.

Il faut pour cela nous débarrasser de la conductibilité de ces gaz en les faisant passer dans un condensateur cylindrique assez puissant pour capter tous les ions chargés. La formule connue : $K = \frac{u \log \frac{b}{a}}{2\pi lV}$, qui relie la mobilité des ions aux dimensions du condensateur, permet de voir qu'avec un débit gazeux de 40^{cm} par seconde, un condensateur C₁ (*fig. 2*) dont les dimensions

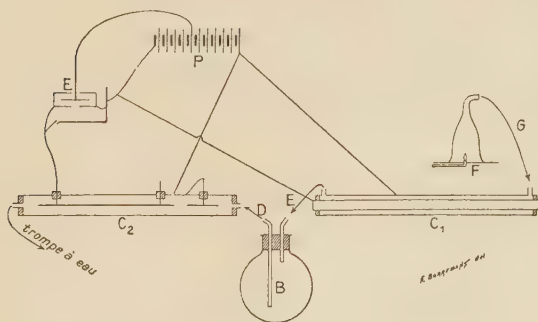
sont : $b = 21^{\text{mm}}$, $a = 15^{\text{mm}}$, $\log \frac{b}{a} = 0^{\text{m}},336$, $l = 1^{\text{m}},32$ suffit pour arrêter tous les ions dont la mobilité est supérieure à 6.10^{-5} cm : sec. (*voir* p. 12) dans un champ de 1 volt par centimètre si l'on maintient entre ses armatures une différence de potentiel de 350 volts. Les ions de flamme seront donc tous arrêtés, ce dont on s'assurera aisément du reste en constatant expérimentalement la non-conductibilité du gaz.

Les gaz sortants passent ensuite dans un ballon de verre mince B servant de chambre d'exposition aux rayonnements ionisants. La capacité de 3^l convient pour ce réservoir ; plus petit, il ne laisserait pas agir le rayonnement pendant un temps suffisant ; plus grand, il augmenterait trop le temps de séjour du gaz et diminuerait la conductibilité.

Enfin vient le condensateur cylindrique C₂ relié à l'électromètre E qui sert à mesurer la conductibilité du gaz et la mobilité des ions.

La figure 13 montre le détail de cette disposition.

Fig. 13.



L'expérience consiste à montrer que les gaz de flamme, une fois désélectrisés par leur passage à travers C₁, contiennent encore quelque chose de chargeable par une

exposition à de petits ions. Pour cela on vérifie que, le condensateur C_1 étant excité, la conductibilité ordinaire du gaz de flamme est bien arrêtée. En approchant alors du ballon un tube de verre scellé et contenant un sel de radium, la conductibilité apparaît de nouveau ; elle est bien liée au gaz de flamme, car, en le remplaçant par de l'air ordinaire, toute trace d'électrisation cesse, si l'on a bien pris les précautions nécessaires pour éviter une influence *directe* du radium.

Le Tableau suivant montre un exemple numérique de ce qu'on mesure dans ces conditions :

Gaz circulant dans l'appareil.	État du condensateur C_1 .	Ionisation en B.	Temps pour 15 ^{cm} d'échelle.
Gaz de flamme . . .	C non excité	Pas de radium B	8 ^{sec}
Gaz de flamme . . .	C excité (350 vol.)	Pas de radium B	300
Gaz de flamme . . .	C excité (350 vol.)	Radium en B	18
Air ordinaire . . .	C excité (350 vol.)	Radium en B	300

Les rayons X produisent le même effet que le radium. Il en est encore de même quand on place au sein du gaz qui sort de C_1 une plaque de zinc fraîchement nettoyée et qu'on l'éclaire à la lumière ultra-violette ; mais alors il ne se produit que des ions négatifs. Dans ce dernier cas, on aurait pu s'attendre à trouver aussi de gros ions positifs, à cause de l'action directe sur l'eau qui a été quelquefois attribuée aux rayons ultra-violets. Les rayons exerceraient sur les gouttelettes une action analogue à celle que subit la plaque de zinc, et il en résulterait de petits ions négatifs et de gros ions positifs. Dans les conditions expérimentales où nous avons opéré (la source ultra-violette était soit une lampe à arc à charbons imprégnés de zinc ou d'aluminium, soit une lampe à arc à mercure à fenêtre de quartz), aucun effet de ce genre n'a été observé. Le grand nombre des petits ions négatifs émis par le zinc suffit à expliquer cette absence de gros ions positifs.

On sait qu'un fil de platine qu'on porte au rouge émet des charges considérables, d'abord positives pour des températures basses, puis négatives quand la température s'élève et que le fil a pour ainsi dire été nettoyé par la chauffe; ces charges négatives sont alors constituées par des petits ions négatifs. Nous avons bien essayé de charger les centres neutres par ces petits ions; mais il est difficile de trouver des résultats nets, à cause des effets calorifiques qui entraînent une disparition rapide de l'ionisation.

ABSENCE DE CENTRES NEUTRES DANS LES GAZ DE FLAMME D'OXYDE DE CARBONE.

La même méthode peut servir à montrer que les gaz issus de la flamme d'oxyde de carbone brûlant dans de l'air sec et filtré ne contiennent pas de centres neutres.

Si l'on remplace en effet dans l'appareil précédent le gaz d'éclairage par l'oxyde de carbone, en prenant les précautions indiquées page 21, on constate que l'approche du radium en B ne produit pas de gros ions.

PROPRIÉTÉS DES CENTRES NEUTRES.

Les centres neutres ainsi caractérisés dans la flamme de l'hydrogène et du gaz d'éclairage sont vraisemblablement de l'eau à un degré plus ou moins grand de condensation, mais sûrement à un état de très grande division.

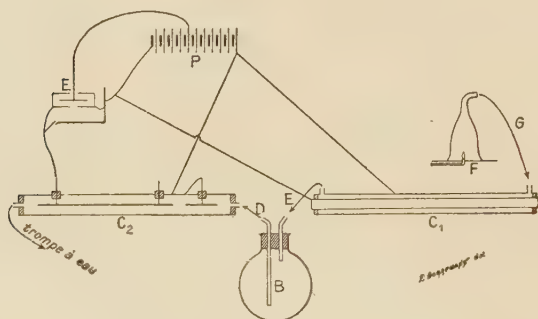
L'expérience suivante peut servir à montrer que ce n'est pas à proprement parler le seul fait de contenir en plus ou moins grande abondance de l'eau vaporisée qui suffit à charger un gaz de ces agglomérations.

On chauffe à la lampe à alcool un peu d'eau dans une ampoule soufflée au milieu d'un tube de verre; on expose cette ampoule au radium et l'on examine l'ionisation du

gaz aspiré à travers cet appareil. On voit que pendant la chauffe, puis l'ébullition de l'eau, la présence de gros ions ne se manifeste pas; elle commence au contraire à apparaître quand, toute l'eau étant évaporée, la dernière couche liquide adhérente au verre se trouve seule échauffée par la lampe et portée à une température de 200° à 300° .

De même l'eau aspirée au voisinage d'un jet de vapeur ne contient qu'une très faible quantité de centres neutres;

Fig. 14.



tandis que la chauffe d'un corps poreux, ou de petits débris de verre humide, en fournit en grand nombre.

Ces centres neutres provenant de corps humides chauffés semblent tout à fait analogues à ceux des gaz de flamme. Nous en trouverons encore de très voisins dans le barbotage de certains liquides (pas de l'eau), ainsi que dans l'étincelle, et nous allons étudier quelques-unes de leurs propriétés.

Les centres neutres sont facilement arrêtés par des filtres en coton. En intercalant par exemple un tampon de coton ordinaire entre C_1 et B (*fig. 13*), on supprime toute la production des gros ions sous l'influence du radium; le gaz n'est cependant pas desséché par le coton, ce qui indique que les agglomérations ne sont pas dues à

de la *vapeur* d'eau, mais formées de particules en suspension.

La chaleur les détruit également.

Il suffit pour cela d'intercaler un serpentín de cuivre en G, en E ou en D, et de chauffer vers 250°. Dans tous les cas, on constate la disparition des centres neutres.

Or en G on avait affaire aux centres neutres mélangés aux ions de flamme, en E aux centres neutres *seuls*, et en D aux centres que le radium vient de charger. Le fait qu'en E la disparition sous l'action de la chaleur ait lieu comme ailleurs semble bien montrer que ce n'est pas une augmentation de diffusion électrique qui intervient, mais une évaporation ou une destruction de l'agglomération sous l'influence de l'agitation thermique.

CENTRES NEUTRES ET IONS CHARGÉS. VIEILLISSEMENT.

Quand on laisse séjourner les gaz issus de la flamme du gaz d'éclairage dans un récipient un peu grand, une tourie de 30^l ou 50^l par exemple, on constate que le temps amène deux modifications dans l'état du gaz.

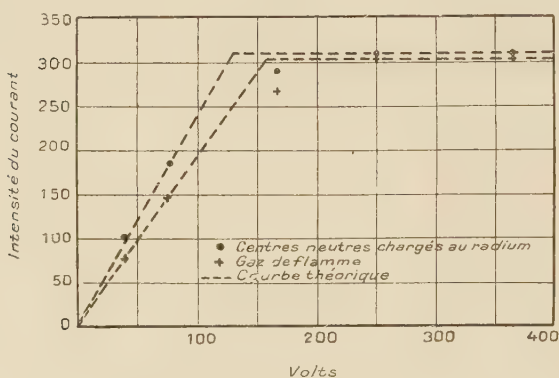
La conductibilité, c'est-à-dire le nombre des ions par unité de volume, diminue assez rapidement et finit par s'annuler, tandis que la mobilité moyenne des ions restants diminue et tend vers $\frac{1}{300}$ de millimètre. C'est le phénomène du *vieillissement* des ions de flamme, signalé par M. Bloch.

Comment se produit cette modification? Les plus petites gouttes se recombinent-elles les premières, ce qui fait évidemment marcher la mobilité moyenne du côté de celle des plus grosses? Les grosses attirent-elles les petites? Y a-t-il chute de l'ensemble ou précipitation analogue à celle des particules colloïdales? C'est encore un point obscur. Nous allons voir cependant

l'étude des centres neutres nous montrer que la *charge* des ions *ne joue pas de rôle important* dans ce vieillissement des ions de flamme.

La disparition spontanée, progressive et le grossissement (qui se traduit par une diminution de mobilité quand on charge les agglomérations avec des petits ions) sont des propriétés que possèdent les *centres neutres* aussi bien que les centres chargés.

Fig. 15.



- Centres neutres de flamme chargés au radium.
 ★ Gaz de flamme naturel.

Si l'on cherche à mesurer la mobilité des ions produits par les centres neutres chargés, on trouve des courbes tout à fait semblables à celles que fournissent les ions de flamme pris un même espace de temps après leur formation.

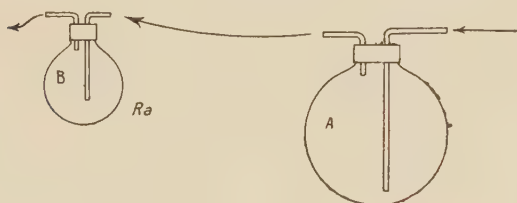
Les courbes ci-contre (*fig. 15*) permettent de comparer les mobilités dans les deux cas.

On peut, du reste, montrer d'un seul coup que les changements survenus par diminution des mobilités avec le vieillissement sont tout à fait les mêmes pour les centres neutres et pour les gros ions chargés.

Si l'on intercale sur le trajet du courant gazeux deux

ballons (*fig. 16*), l'un A d'une vingtaine de litres, destiné à vieillir les centres, l'autre B de 2^l ou 3^l, servant à les exposer au rayonnement du radium, on constate que le résultat final ne change pas quand on permute les positions des deux ballons, c'est-à-dire quand on charge les centres, *avant* ou *après* leur vieillissement.

Fig. 16.



Tout cela indiquerait plutôt un grossissement des agglomérations dû à des actions qui ne sont pas électriques, et finissant par permettre à la pesanteur d'agir malgré la viscosité et les remous du gaz.

La diffusion vers les parois, plus rapide pour les particules les plus petites et les plus mobiles, conduit aussi au même résultat indépendamment de toute action électrique.

PROPORTION RELATIVE DES CENTRES CHARGÉS.

Quand le radium agit sur le gaz de flamme privé de ses ions chargés, pour transformer en gros ions les centres neutres qu'il contient, on peut se demander quelle proportion des centres neutres est ainsi chargée. Cette proportion, qui, d'après la théorie rappelée plus haut, devrait aboutir à un équilibre indépendant de la radiation à partir d'une certaine intensité de celle-ci, varie, en réalité, avec la distance du radium et le temps d'exposition à son action.

Cela peut être expliqué par la durée probablement assez longue que mettrait l'équilibre à s'établir complètement. Nous aurons l'occasion, du reste, de montrer que l'action du radium tend manifestement à augmenter le nombre des centres chargés quand il est au-dessous d'une certaine limite et à l'abaisser, au contraire, quand il la dépasse.

L'expérience montre aussi que la proportion chargée est toujours faible, même avec des intensités de radiation relativement assez fortes.

On peut s'en rendre compte de la manière suivante : une première exposition au radium charge un certain nombre de centres; on mesure la conductibilité correspondante. On enlève ensuite à l'aide du condensateur d'arrêt les centres ainsi chargés, puis on soumet de nouveau le gaz au rayonnement du radium et l'on y retrouve une conductibilité à peine inférieure à la première. Il en résulte que le nombre des centres neutres encore présents au moment de la seconde exposition n'est pas beaucoup inférieur à celui de la première exposition.

CHAPITRE VI.

Ionisation des gaz d'étincelle.

Dans le courant de 1907, MM. de Watteville et Hemsalech ont signalé un procédé nouveau pour obtenir des spectres de flamme; il suffit d'alimenter le brûleur d'un bec Bunsen par des gaz ayant passé sur une étincelle électrique; la flamme offre le spectre des métaux entre lesquels éclate l'étincelle; il y a donc de la matière entraînée, et dans un état qui lui permet de rester long-

temps en suspension, puisque les auteurs du procédé ont pu observer la coloration de la flamme en intercalant plusieurs mètres de canalisation entre l'étincelle et le brûleur.

Il nous a semblé intéressant d'examiner l'état d'ionisation du gaz ainsi obtenu, ce qui se fait très aisément en lui faisant traverser le long condensateur et le tube collecteur de gros ions déjà employés pour l'étude des centres neutres des gaz de flamme.

L'étincelle produite par une petite bobine d'induction éclate entre des pointes de métal distantes d'environ 1^{mm}; cette étincelle est peu condensée, pour éviter l'échauffement et la vaporisation exagérés des électrodes.

On constate :

- 1° Qu'il existe des ions des deux signes;
- 2° Que ces ions ont une mobilité de l'ordre du $\frac{1}{100}$ de millimètre par seconde;
- 3° Qu'ils sont accompagnés par un nombre considérable de centres analogues, mais non chargés.

Ces derniers centres jouissent de toutes les propriétés que nous avons déjà reconnues aux centres neutres des gaz de flamme; en particulier, ils disparaissent par une élévation de température de 200° ou 300°, ce qui, dans le cas présent, ne saurait s'expliquer par une vaporisation; il faut en rapporter la cause à l'accroissement intense de la diffusion que produit l'augmentation d'énergie cinétique du gaz.

Le nombre des centres ainsi projetés et restant en suspension dans le gaz atteint facilement l'ordre de 10⁸ par centimètre cube. Nous parlerons plus loin de l'intérêt qui s'attacherait à leur numération exacte ainsi qu'à la détermination de leur charge individuelle.

On peut aussi chercher à comparer les effets produits dans les mêmes conditions par des métaux de volatilités différentes.

L'expérience fournit le Tableau suivant :

Métal.	Temps pour 15 ^{cm} d'échelle.
Bismuth.....	5 ^{sec}
Thallium.....	8
Étain.....	8
Zinc.....	8
Plomb.....	9
Aluminium.....	20
Fer.....	20
Cuivre.....	20

On observe des phénomènes analogues même pour le platine, cependant peu volatil et peu oxydable. L'étincelle jaillit entre deux fils de platine préalablement décapés à l'acide nitrique et chauffés au rouge dans le bec Bunsen.

Bien que l'étincelle ne donne alors au spectroscopie que les raies de l'air, il se produit une pulvérisation du métal fournissant des particules qui restent en suspension comme celles des métaux précédents.

Dans le cas du platine, la grosseur des particules est plus régulière que pour les métaux plus volatils : leur mobilité, relativement grande ($\frac{1}{60}$ de millimètre), est très bien définie.

Une certaine condensation de l'étincelle est nécessaire pour obtenir avec le platine des effets un peu marqués.

Mais l'émission de gros ions des deux signes en nombres à peu près égaux distingue nettement ce phénomène des effets ionisants bien connus du platine chauffé.

Il y a toujours des ions des deux signes ; mais le nombre des ions de chaque signe, à peu près égal pour les ions + et les ions — quand le circuit reliant les électrodes à la bobine ne présente pas de singularités, est très sensible à l'introduction de coupures sur ce circuit ; on

peut ainsi obtenir des ionisations presque entièrement unipolaires.

C'est en introduisant une coupure sur la portion de circuit qui arrive à l'électrode positive, qu'on diminue le nombre des gros ions positifs.

Ce fait est vraisemblablement dû à des oscillations électriques parasites dans les conducteurs; on pourrait peut-être l'employer pour étudier ces oscillations.

Quant à la manière dont se chargent les granules métalliques, on peut concevoir qu'ils soient projetés tout chargés des électrodes, ou bien qu'ils soient projetés neutres dans le gaz riche en petits ions qui accompagne nécessairement le phénomène de l'étincelle.

CHAPITRE VII.

Ionisation par barbotage. Influence de la nature du liquide.

EXPOSÉ DE LA QUESTION.

Nous venons d'examiner des phénomènes dans lesquels la présence simultanée de petits ions et de particules matérielles donnait naissance à une ionisation du gaz douée d'une certaine persistance. Il nous a paru intéressant d'étudier au même point de vue le phénomène connu sous le nom d'*ionisation par barbotage*, dans lequel on obtient aussi une persistance relative de la conductibilité, et de chercher si l'on y retrouve des conditions analogues.

Dans le phénomène de l'ionisation par barbotage, c'est la charge totale portée par le gaz qui a été étudiée la première avant qu'on cherchât à en préciser les supports. Lord Kelvin, en 1894, a montré que l'air qui a barboté dans l'eau est chargé négativement et que cette charge diminue quand on ajoute à l'eau des matières salines ou

des acides, le signe de la charge pouvant même se renverser.

Lénard, frappé de la conductibilité de l'air au voisinage des chutes d'eau, avait dès 1892 rapporté ce phénomène à la pulvérisation de l'eau. C'est ainsi qu'en étudiant la charge de l'air au voisinage de gouttes qui viennent s'écraser sur un plateau, il la trouva négative, tandis que l'eau prenait une charge complémentaire. Là aussi la pureté de l'eau intervient d'une façon très sensible : les sources naturelles donnent des résultats très divers et l'eau de mer un signe contraire à celui de l'eau pure.

J.-J. Thomson (1894) a montré que les effets produits par des traces infimes de substances étrangères, par exemple par des solutions à peine colorées de rosaniline, étaient intenses. Puis, Kösters (1900) a déterminé la proportion d'acide sulfurique qui correspond au point de renversement de signe de la charge totale, qui est alors nulle en valeur absolue : il a trouvé 0,007 pour 100 ; la charge passe du signe -- au signe +.

Dans le cas de l'écrasement de gouttes, Lénard a aussi trouvé une influence considérable de la nature du gaz environnant.

Les travaux les plus récents ont encore apporté de nouveaux renseignements, mais en montrant combien la question est complexe. Kaehler (*Ann. der Physik*, 1903) a fait voir que la charge totale des gaz était due à la différence des charges portées par de véritables ions, les uns positifs, les autres négatifs, dont la proportion relative varie avec la composition du liquide employé. Si c'est de l'eau et qu'elle soit pure, les ions négatifs prédominent largement.

M. D. Pacini (*Ac. dei Lincei*, 1904) a également étudié l'électrisation par barbotage dans l'eau contenant des traces de matières colorantes. Il a trouvé que les unes (éosine, résorcine, etc.) communiquent au gaz une charge

totale dont le signe est indépendant de la concentration, tandis que d'autres (rosaniline, fuchsine, etc.) donnent une électrisation de signe variable.

Aselmann, dans un Mémoire détaillé (*Ann. der Physik*, 1906), a étudié la mobilité des ions produits par l'écrasement de gouttes de solution de chlorure de sodium, et il a trouvé une très grande variété de mobilités. Ainsi, pour l'eau pure et les ions négatifs, les valeurs extrêmes seraient 4 cm par seconde et $2,7 \cdot 10^{-4}$ cm par seconde avec une valeur moyenne de 10^{-2} cm par seconde. Pour une solution à 0,2 pour 100 de chlorure de sodium, ce physicien trouve pour les ions négatifs des mobilités de 4 cm par seconde à $1,9 \cdot 10^{-3}$ cm par seconde, et pour les ions positifs, de $8,8 \cdot 10^{-2}$ cm par seconde à $6 \cdot 10^{-4}$ cm par seconde.

Il est certain que les agglomérations ainsi étudiées présentent une très grande diversité de grosseurs et peut-être de charge.

Tout récemment, enfin, M. L. Bloch (*Comptes rendus*, 1^{er} juillet 1907) a apporté de nouvelles confirmations aux résultats précédents et mesuré, dans le cas du barbotage dans l'eau pure, des mobilités moyennes de 1^{mm} ,15 pour les ions négatifs et de 0^{mm} ,8 pour les ions positifs, en déterminant également le point neutre dans le cas du barbotage de l'air dans les solutions sulfuriques.

Nous venons de signaler les différents procédés employés pour produire ce genre d'ionisation. Dans nos recherches, nous avons utilisé seulement le passage d'un gaz dans un liquide à travers un orifice étroit.

Le phénomène est complexe. La conductibilité du gaz dépend d'une foule de conditions : nature chimique et état du gaz, nature du liquide, température, forme et dimensions de l'orifice, distance de l'orifice à la surface libre, dimensions du vase (à cause de la recombinaison), et surtout valeur de la différence de pression de part et

d'autre de l'orifice étroit. Ce sont autant de conditions qui influent sur les résultats.

Nous nous sommes plus spécialement attaché à montrer l'influence du liquide et du gaz. A condition d'opérer avec un barboteur déterminé et une dépression toujours sensiblement la même, à la température du laboratoire, on élimine sans difficulté l'effet des autres causes de variation et l'on obtient des résultats suffisamment constants.

INFLUENCE DE LA DÉPRESSION.

Nous signalerons tout d'abord les résultats de quelques expériences faites en vue de montrer le rôle de la dépression.

Le régime du courant gazeux s'établit pour une certaine différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du barboteur. Avec l'aspiration d'une trompe à eau ordinaire et un diamètre d'orifice de l'ordre de $\frac{4.5}{100}$ de millimètre, cette dépression peut facilement atteindre 0^m,50 de mercure; mais la plupart des résultats cités plus loin ont été obtenus avec une dépression d'une dizaine de centimètres de mercure, et des diamètres d'orifice de quelques dixièmes de millimètre.

Les résultats obtenus à une certaine dépression conservent-ils leur signification pour d'autres valeurs de cette variable? C'est ce que montrent les expériences suivantes.

Désignons par :

n le nombre des ions, positifs par exemple, contenus dans 1^{cm}³ de gaz à la sortie du barboteur;

u le débit en centimètres cubes par seconde, mesuré à la pression $H - \Delta$ que possède le gaz en cet endroit;

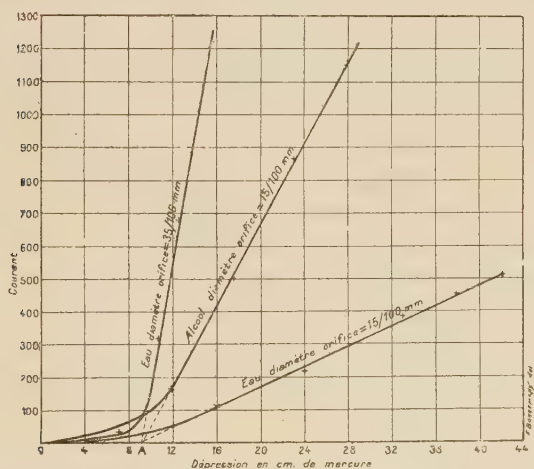
e la charge d'un ion.

Le courant recueilli par l'électromètre (mesuré par l'inverse du temps que met la tache lumineuse à parcourir un certain nombre de divisions de l'échelle) donne

$n.u.e$ si le condensateur qui transmet les charges à l'électromètre est assez puissant pour les arrêter toutes (partie horizontale de la courbe de saturation). En divisant $n.u.e$ lu sur l'appareil par le débit u , on obtient $n.e$ qu'on peut appeler *l'intensité d'ionisation*.

Si, avec un même orifice, on fait varier la dépression, la courbe qui représente $n.u.e$ en fonction de la dépression est représentée figure 17. Cette courbe, après une partie

Fig. 17.



très basse, devient et reste une droite. Le courant observé varie alors, non pas tout à fait proportionnellement à la dépression, mais à la dépression corrigée d'une quantité constante OA.

En changeant le tube fin, on obtient une courbe analogue plus ou moins inclinée sur l'axe des dépressions.

Enfin, en gardant le même tube, mais en changeant le liquide, on obtient encore une droite, mais de coefficient angulaire différent. Par exemple, en remplaçant l'eau par l'alcool, le coefficient angulaire devient beaucoup plus grand. Ce résultat permet de relier, dans une certaine

mesure, les observations faites à une dépression à celles qui correspondent à une autre valeur de cette variable. Il montre, par exemple, que l'allure de l'alcool par rapport à l'eau ne dépend pas de la dépression.

Pour avoir l'intensité d'ionisation, il faudrait diviser les ordonnées de la courbe précédente par les débits correspondants. Avec des tubes très fins, le débit est sensiblement proportionnel à la dépression et l'intensité d'ionisation n'est pas loin d'être constante. Avec des orifices plus gros, elle augmente rapidement, et pratiquement, quand on dispose d'une aspiration constante, l'effet d'ionisation, faible pour les tubes très fins, croît, passe par un maximum et redevient presque nul pour de gros orifices.

INFLUENCE DE LA NATURE DU LIQUIDE.

Les phénomènes observés conduisent à classer en quatre groupes les liquides que nous avons étudiés :

- 1° Les solutions salines aqueuses ;
- 2° Les solutions aqueuses d'alcool et d'éther, etc. ;
- 3° L'alcool éthylique, l'alcool méthylique, l'éther, l'acétone, l'aldéhyde, etc. ;
- 4° La benzine, l'éther de pétrole, l'essence de térébenthine, l'huile de vaseline, le xylène, le toluène, l'air liquide, etc.

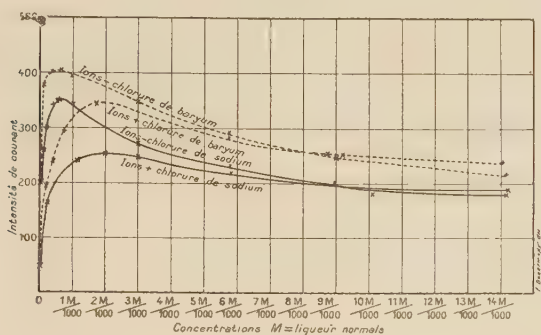
1° *Phénomènes présentés par les solutions salines.* — On introduit de l'eau distillée dans le flacon barboteur soigneusement lavé. On mesure le courant produit par le barbotage dans des conditions bien définies. On répète cette mesure en remplaçant plusieurs fois l'eau distillée ; on trouve des courants de plus en plus lents. On continue ainsi jusqu'à ce que plusieurs lavages consécutifs donnent des résultats identiques.

On ajoute alors successivement dans le barboteur des quantités connues de solutions salines titrées et l'on mesure

les courants obtenus en recueillant soit les ions positifs, soit les ions négatifs.

En traçant les courbes qui ont pour ordonnées les courants et pour abscisses les concentrations en fraction de liqueur normale, on obtient pour un grand nombre de sels, chlorures de sodium, de potassium, de baryum, bromure et iodure de potassium, pour les acides sulfurique, chlorhydrique, acétique, pour la potasse, des courbes très analogues entre elles que représente la figure 18.

Fig. 18.



On voit que ces courbes ont toutes une même allure. Nous reviendrons plus loin sur cette courbe (p. 42).

L'inspection de la figure 18 montre immédiatement que le nombre des ions positifs, très faible au début, s'accroît rapidement pour de très petites quantités de sel, tout en restant inférieur à celui des ions négatifs. Il passe par une sorte de maximum aplati dans la région qui va de $\frac{M}{1000}$ à $\frac{M}{500}$, puis diminue lentement vers les fortes concentrations.

La courbe des ions négatifs part d'une valeur encore assez forte, passe par un maximum très accusé aux environs de $\frac{M}{2000}$ et redescend; elle coupe la courbe des ions po-

sitifs sous un angle faible vers $\frac{M}{100}$, reste longtemps dans son voisinage, puis s'abaisse notablement vers les fortes concentrations.

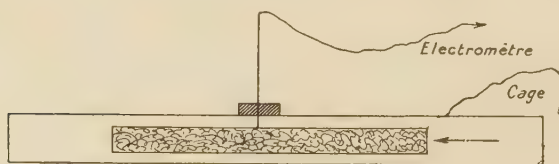
La charge totale du gaz est représentée dans la figure 18 par la différence des ordonnées correspondantes des deux courbes. Elle commence donc par être négative, ne varie pas beaucoup jusqu'au maximum de la courbe des ions négatifs, puis diminue, s'annule, devient positive et finit par prendre une valeur notable après être restée faible pendant un long intervalle.

Nous avons d'ailleurs retrouvé ces derniers résultats directement, en faisant passer le gaz dans un tube rempli de tournure de cuivre (*fig. 19*) relié à l'électromètre et convenablement protégé contre les actions électrostatiques. On ne recueille ainsi que la différence des charges des deux signes.

La teneur saline des eaux usuelles correspond à la région où la charge totale est faible.

Dans la branche montante des deux courbes, l'ioni-

Fig. 19.



sation du gaz constitue un réactif très sensible des variations de concentration, comme le montrent les chiffres suivants :

Liquide.		Courant.
100cm ³ d'eau distillée.		
+ 1cm ³ solution chlorhydrique	$\frac{M}{4000}$	92
+ 2cm ³ »		111
+ 3cm ³ »		130
+ 4cm ³ »		147

On arrive ainsi à déceler couramment, sans aucune difficulté, une variation de concentration de l'ordre de 10^{-7} gr par centimètre cube.

Il est intéressant de rapprocher ce chiffre de quelques autres relatifs à la division de la matière.

Par exemple, la coloration permet de reconnaître la présence de 10^{-7} gr de carmin dans 1 cm^3 d'eau et d'une quantité encore plus faible de fuchsine dans l'alcool.

La réaction spectrale et la sensation olfactive sont plus sensibles. D'après M. Berthelot, 10^{-11} gr d'iodoforme par centimètre cube d'air suffisent pour que l'odeur soit perceptible. Si l'on admet que 10 cm^3 de chlore puissent être appréciés à l'odorat dans 100 cm^3 d'air, on trouve une proportion de 10^{-10} gr par centimètre cube. La réaction spectrale du sodium conduit à une limite du même ordre.

DISCUSSION DE L'INFLUENCE DE LA RECOMBINAISON DES IONS SUR LES RÉSULTATS OBSERVÉS.

Bien entendu, les courants recueillis par l'électromètre ne renseignent que sur le nombre d'ions contenus dans le gaz à l'endroit où se trouve l'électrode qui les recueille. Comme cette électrode est nécessairement à une certaine distance du barboteur, les résultats observés dépendent de la recombinaison des ions dans cet intervalle.

Récemment M. Bloch, calculant les mobilités par l'abscisse du maximum arrondi que donnent dans ce cas les courbes de Zéléný, ce qui correspond à la fois aux ions les plus nombreux et les plus mobiles, a trouvé comme mobilité moyenne, pour le barbotage dans l'eau distillée, 1 mm , 15 pour les ions négatifs et 0 mm , 8 pour les ions positifs. Cette mobilité, dans le cas de solutions sulfuriques, va en décroissant et tend vers $\frac{1}{300}$ de millimètre par seconde pour les ions des deux signes lorsque, partant de l'eau distillée, on augmente la concentration et l'on arrive à la liqueur normale.

La recombinaison, qui varie dans le même sens que la mobilité, va donc aussi en décroissant continuellement quand on augmente la concentration. On ne peut par suite attribuer à la seule influence de cette recombinaison la forme des courbes obtenues. L'existence de la branche montante pourrait seule, *a priori*, être attribuée à cette cause. Des résultats qui seront donnés plus loin prouvent qu'il n'en est rien. Nous verrons, en effet, qu'en faisant barboter de l'air contenant des centres neutres, on tend à rendre la recombinaison indépendante de la concentration ; or dans ces conditions non seulement on retrouve la même forme de courbe, mais le maximum est encore plus accusé.

Nous avons d'ailleurs constaté directement que la forme des courbes ne change pas quand on fait varier, dans de larges limites, la distance du barboteur à l'électrode réceptrice.

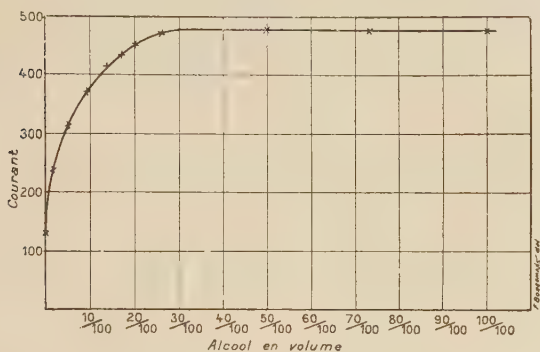
Les courbes de la figure 18 paraissent donc bien caractériser directement l'état d'ionisation du gaz à la sortie du barboteur.

2° *Solutions aqueuses d'alcool et d'éther.* — Les expériences précédentes ont montré que la conductibilité de l'air qui a barboté dans les solutions salines étendues est un réactif très sensible permettant de déceler la présence dans l'eau de traces de matières salines. Il était intéressant de rechercher si des faits analogues se produisent lorsqu'on dissout dans l'eau des liquides organiques tels que l'alcool, l'aldéhyde, l'éther, l'acétone, etc.

L'expérience montre que l'allure des courbes représentant l'ionisation du gaz en fonction de la concentration du liquide est absolument différente. La figure 20 représente les résultats obtenus pour des mélanges d'eau et d'alcool. On voit que la conductibilité augmente régulièrement avec la concentration jusqu'à une valeur de saturation qui est celle de l'alcool pur (nous verrons en effet

que ce liquide donne un effet d'ionisation beaucoup plus considérable que celui de l'eau). Cette valeur de saturation

Fig. 20.



est atteinte pour un mélange contenant 30 pour 100 d'alcool.

L'effet produit par l'addition des premières quantités d'alcool est d'ailleurs beaucoup plus faible, à nombre égal de molécules, que celui des solutions salines, comme le montre le Tableau suivant :

Tableau de comparaison.

Potasse.		Alcool.	
Concentration.	Conductibilité.	Concentration.	Conductibilité.
0	100	0	100
$\frac{M}{152000}$	134	$\frac{M}{152000}$	104
$\frac{M}{38500}$	229	$\frac{M}{38500}$	113
$\frac{M}{4000}$	422	$\frac{M}{4000}$	116

L'éther présente deux régions de miscibilité avec l'eau. Dans la première (solution d'éther dans l'eau) les résultats obtenus sont analogues à ceux que donne l'alcool.

Pour la seconde région (solubilité de l'eau dans l'éther) le froid produit par la vaporisation abaisse notablement la température du liquide; de ce fait, les nombres obtenus aux différents instants ne sont pas comparables. Il ne tarde pas d'ailleurs à se former des cristaux qui obstruent l'orifice étroit du barboteur et empêchent de continuer les expériences.

3° *Liquides autres que l'eau.* — Les expériences ont porté sur un grand nombre de liquides et ont conduit à les classer en deux groupes :

1^{re} catégorie : l'alcool méthylique, l'alcool éthylique, l'éther, l'acétone, l'aldéhyde, l'acide sulfurique pur bouilli, l'aniline ;

2^e catégorie : la benzine, le toluène, le xylène, le sulfure de carbone, le tétrachlorure de carbone, le pentane, l'hexane, l'essence de térébenthine, le chloroforme.

Le barbotage de l'air dans les liquides du premier groupe donne des centres CHARGÉS. Dans les liquides du second groupe on n'obtient que des centres NEUTRES chargeables au radium.

Le Tableau suivant donne une idée de quelques-uns des résultats obtenus :

	Temps pour 15 ^{em} d'échelle.	
	Barbotage simple.	Barbotage avec charge des centres neutres par le radium.
Hexane.....	450 ^{sec}	— 13 ^{sec}
Sulfure de carbone.....	très grand	15
Tétrachlorure de carbone.	+ très grand	+ 26
	— 480	— 21

Dans la seconde catégorie, il y a lieu de ranger l'air liquide, dans lequel le barbotage se fait sans difficulté à la seule condition de débarrasser l'air qui barbote de vapeur d'eau et de gaz carbonique.

L'intensité des effets observés avec les alcools nous a

conduit à examiner aussi le rôle du phénol. Sa dissolution dans la benzine constitue un liquide se rangeant nettement dans la première catégorie.

Jusqu'à présent rien de bien net ne permet de *prévoir* dans quelle catégorie se rangera un corps donné. Chaque groupe contient en effet des corps de viscosités et de volatilités très diverses. On peut cependant remarquer que, au point de vue de la conductibilité électrique, les liquides du premier groupe se comportent comme l'eau. On peut dire aussi que, en général, les substances du premier groupe sont oxygénées et miscibles à l'eau, contrairement à celles du second groupe; tout au plus l'aniline semble-t-elle faire exception dans le premier groupe; mais on sait qu'elle fixe de l'oxygène dès qu'elle est exposée à l'air. Dans cet ordre d'idées, on voit que la dissolution d'un corps oxygéné dans un liquide du second groupe (phénol dans la benzine) le fait passer dans le premier groupe (¹).

Signalons enfin que le mercure ne rentre dans aucune des catégories précédentes. Il ne fournit en effet ni centres chargés ni centres neutres par barbotage. Il y a lieu de remarquer que ces conditions sont toutes différentes de celles où l'agitation du mercure dans un vase communicant à l'air une électrisation notable (Lénard).

LIQUIDES VISQUEUX.

GLYCÉRINE, HUILE DE VASELINE, ETC.

Les solutions de glycérine dans l'eau donnent des ions de mobilité très faible et d'autant mieux définie que la mousse est plus abondante. La glycérine pure et l'huile de vaseline ne donnent ni centres neutres ni centres chargés.

Remarque. — Dans toutes ces expériences, pour

(¹) On pourrait aussi remarquer que les liquides actifs sont des milieux *ionisants* au point de vue électrolytique.

qu'il y ait production de centres (chargés avec les liquides de la première catégorie, neutres avec ceux de la seconde), il est absolument essentiel que le tube effilé plonge dans le liquide, c'est-à-dire qu'il y ait réellement barbotage. Si cette condition n'est pas remplie, le gaz sortant du barboteur, même abondamment chargé de vapeurs, ne présente aucune des propriétés indiquées.

BARBOTAGE PAR LES DIFFÉRENTS GAZ.

Nous avons essayé l'action de l'oxygène et de l'hydrogène. Le barbotage de ces gaz présente les mêmes caractères que celui de l'air, ce qui écarte l'hypothèse que les phénomènes puissent être dus à une action chimique du gaz sur le liquide.

Même au point de vue quantitatif, on ne peut noter aucune différence importante, à condition bien entendu d'opérer toujours avec des débits du même ordre, ce qui exige l'emploi, dans le cas de l'hydrogène, de dépressions notablement plus faibles que pour l'air, par suite de l'aptitude particulière de l'hydrogène à passer à travers les orifices étroits.

Dans ce dernier gaz, les mobilités ont aussi une valeur sensiblement plus forte que dans les autres.

Cette propriété, qui rend l'ionisation beaucoup moins stable, peut expliquer l'électrisation presque nulle obtenue dans l'hydrogène par MM. Lénard et J.-J. Thomson.

CHAPITRE VIII.

Ionisation par barbotage. Action des radiations ionisantes.

Dispositif. — A la sortie du barboteur les gaz passent dans un ballon de 3^l où ils peuvent être exposés au

rayonnement d'un sel de radium ou d'une ampoule à rayons X. Ce ballon est placé à une certaine distance du condensateur chargé de recueillir les ions, et l'on s'assure, par des expériences directes de contrôle, que le radium et les rayons X n'exercent aucune action sur les appareils, soit directement, soit par l'entraînement des petits ions qu'ils produisent.

Nous avons vu (p. 25 et 26) que dans ces conditions les centres neutres, si le gaz en contient, se chargent en partie en se transformant en véritables ions positifs et négatifs. C'est le phénomène que présentent, avec la plus grande netteté, les gaz ayant barboté dans les liquides de la seconde catégorie.

Nous avons énoncé, à propos des centres neutres de diverses origines que nous avons déjà rencontrés, une propriété caractéristique et remarquable, celle de donner aux gaz qui les contiennent une aptitude toute spéciale à s'ioniser par le barbotage. Nous étudierons plus longuement ce phénomène dans la suite. Disons simplement ici que cette propriété appartient au même degré aux centres neutres dont nous nous occupons actuellement.

Tout autres sont les phénomènes présentés par les gaz ayant barboté dans les liquides de la première catégorie. *L'exposition aux radiations ionisantes, au lieu de donner aux gaz des propriétés conductrices, leur enlève au contraire une partie de celles qu'ils possédaient*, ainsi que le montre le Tableau suivant :

	Courant (unité arbitraire).	
	Ions +.	Ions —.
Sans exposition au radium	30	100
Avec exposition au radium	4	14

ACTION DESTRUCTIVE DU RADIUM SUR LES IONS DE BARBOTAGE.

D'une part les ions de barbotage dans les solutions sont tous chargés. D'autre part la théorie exposée à la page 7 indique que l'équilibre d'un gaz contenant des centres, sous l'action d'une radiation ionisante, exige qu'un assez grand nombre de ces centres soient à l'état neutre. Il semblerait tout d'abord satisfaisant de rapporter à cette cause la diminution de conductibilité des gaz de barbotage par exposition aux radiations telles que rayons X ou rayons du radium. Ces radiations n'auraient ainsi d'autre effet que de ramener aux conditions d'équilibre prévues par la théorie un gaz contenant une trop forte proportion de centres chargés.

Il manque cependant à cette manière de voir une confirmation expérimentale importante.

Les centres dont les charges auraient été annulées par recombinaison devraient se retrouver à l'état de centres neutres. En débarrassant le gaz de ses centres restés chargés, par passage dans un condensateur, ce gaz ne contiendrait plus que des centres neutres qui pourraient ensuite, par exposition au rayonnement du radium, repasser en partie à l'état de gros ions. Or il nous a été impossible d'observer ce fait. Le gaz ainsi traité ne prend aucune conductibilité permanente.

BARBOTAGE D'UN GAZ CONTENANT DES CENTRES NEUTRES.

Dans toutes les expériences d'ionisation par barbotage décrites jusqu'ici, le gaz ne contenait pas de centres avant son arrivée dans le liquide. Ce sont les conditions dans lesquelles on se trouve placé tout naturellement lorsqu'on fait passer de l'air puisé directement dans l'atmosphère. Il est aisé de constater, en effet, qu'il ne prend aucune

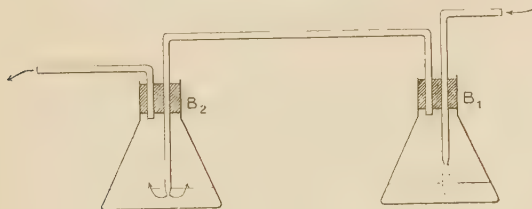
conductibilité permanente appréciable lorsqu'on le soumet au rayonnement du radium.

Le cas où l'on fait barboter, dans une solution saline, un gaz contenant des centres neutres, présente un intérêt particulier : le courant obtenu à l'électromètre possède une intensité de beaucoup supérieure à celle qu'on observe avec de l'air ordinaire. Le phénomène se reproduit d'ailleurs quelle que soit l'origine des centres neutres employés ; peu importe qu'ils proviennent d'une flamme, d'une étincelle, du barbotage dans un liquide inactif, du chauffage d'un corps humide, etc.

On peut, par exemple, mettre le phénomène en évidence par l'expérience suivante très démonstrative :

On dispose à la suite l'un de l'autre deux barboteurs (*fig. 21*). Le premier, B_1 , contenant de la benzine cristal-

Fig. 21.



lisable, est susceptible de fournir des centres neutres. Le second, B_2 , contenant une solution saline, reçoit le gaz qui sort du premier.

On fait d'abord une mesure en maintenant le tube de B_1 en dehors de son liquide. La solution contenue dans B_2 reçoit alors de l'air chargé de *vapeur de benzine* et *n'ayant pas barboté*.

On enfonce ensuite le tube de B_1 de manière que son extrémité plonge dans la benzine. Toutes les conditions restent les mêmes, sauf que le gaz qui arrive dans B_2 s'est chargé de centres neutres par son barbotage dans le liquide de B_1 ; en particulier, la dépression (qui influe, nous le

savons, sur les nombres observés) garde la même valeur. Le courant observé dans ces nouvelles conditions est environ trois fois plus intense que le premier.

Cet accroissement de l'ionisation par barbotage ne saurait être attribué, dans l'expérience actuelle, à une modification chimique de la solution saline B_2 due à de la benzine entraînée à l'état ordinaire. Une telle modification présenterait en effet une certaine persistance. Or le courant reprend sa valeur primitive dès qu'on supprime la production de centres neutres dans B_1 en soulevant le tube hors de la benzine.

Le fait que le phénomène est indépendant de la source qui produit les centres neutres suffirait d'ailleurs pour écarter cette objection.

CHARGE DES CENTRES NEUTRES PAR BARBOTAGE DANS DES SOLUTIONS DIVERSEMENT CONCENTRÉES.

Nous venons de montrer que la présence de centres neutres, dans l'air qui barbote dans des solutions diluées, a pour effet de faire varier l'ionisation, et notamment de l'augmenter très fortement dans le cas des solutions très étendues. Traçons les courbes (*fig. 22*) en prenant pour abscisses les concentrations en fractions de molécule, et pour ordonnées respectivement : courbes 1 et 2 l'ionisation due aux ions positifs et négatifs dans le cas de l'air filtré, courbes 1' et 2' l'ionisation due aux ions positifs et négatifs quand l'air qui barbote est chargé d'une certaine quantité de centres neutres.

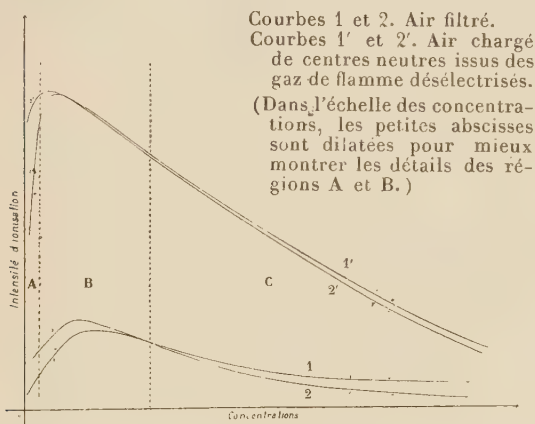
La différence des ordonnées des courbes 1' et 2' et des ordonnées de 1 et 2 pourra servir à apprécier le nombre des charges qui n'étaient pas utilisées dans le barbotage simple et qui se fixent sur les centres neutres quand le gaz en contient.

On peut considérer successivement trois régions :

Région A, concentrations inférieures à $\frac{M}{5000}$:

Les courbes 1 et 2 sont basses ; 2 est au-dessus de 1 : 1' et 2' sont élevées au-dessus de l'axe des abscisses ; 2' est au-dessus de 1'.

Fig. 22.



Région B, concentrations de $\frac{M}{5000}$ à $\frac{M}{100}$:

Les courbes 1 et 2 ont monté ; elles sont voisines l'une de l'autre et se coupent vers la fin de cette région ; les courbes 1' et 2' sont presque confondues, très élevées au-dessus de l'axe des abscisses, et passent par un maximum.

Région C, concentrations supérieures à $\frac{M}{100}$:

Les courbes 1 et 2 baissent lentement : 1 est au-dessus de 2 ; les courbes 1' et 2', toujours presque confondues ensemble, baissent et tendent à se confondre avec 1 et 2.

On voit donc que dans la région C la présence des centres neutres tend à ne plus influencer ; le barbotage semble ne pas libérer plus de charges que ne peuvent en prendre les centres qu'il fournit lui-même ; ces centres sont alors gros.

Dans la région B, le barbotage fournit des centres moyens et beaucoup plus de charges que de centres.

Dans la région A, le barbotage seul fournit encore beaucoup de charges, mais de moins en moins de centres : l'effet des centres neutres, qui est intense, montre, par sa diminution et sa dissymétrie vers les grandes dilutions, que les charges disponibles commencent à décroître, les positives disparaissant plus vite que les négatives, quand la quantité d'électrolyte dissous devient extrêmement faible.

INTERPRÉTATION DES FAITS OBSERVÉS DANS L'IONISATION
PAR BARBOTAGE.

On peut établir un rapprochement intéressant entre les phénomènes observés dans le barbotage d'un gaz à travers un liquide et les considérations, énoncées au début de ce travail, sur la formation des gros ions par *diffusion* sur des agglomérations matérielles, relativement grosses, de centres chargés beaucoup plus petits (petits ions).

Les liquides que nous avons appelés *actifs* émettraient, par barbotage avec de l'air ordinaire, de petits ions et de grosses agglomérations matérielles. Les petits ions seraient en nombre plus que suffisant pour charger toutes les grosses agglomérations et les transformer en gros ions peu mobiles et persistants. L'introduction préalable de centres neutres dans le gaz qui barbote aurait simplement pour effet d'augmenter le nombre des grosses agglomérations présentes et susceptibles de capter de petits ions.

Ainsi s'expliqueraient l'absence de centres neutres dans le gaz provenant du barbotage de l'air ordinaire et l'accroissement de la conductibilité persistante dû à l'introduction de centres neutres dans le gaz qui barbote.

Les liquides dits *inactifs* ne seraient pas susceptibles d'émettre par barbotage de petits ions ; ils fourniraient seulement de grosses agglomérations neutres. La présence préalable de centres neutres dans le gaz ne saurait dans

ces conditions le rendre conducteur. C'est en effet ce qu'on observe lorsqu'on met dans le barboteur un liquide inactif. Que le gaz introduit contienne ou non des centres neutres, il ne présente en aucun cas une conductibilité à la sortie de l'appareil.

Remarque. — Nous avons vu que les ions provenant de la charge des centres neutres de barbotage, par les radiations ionisantes, présentent les mêmes mobilités que les ions de barbotage eux-mêmes, mobilités mal définies, dont quelques-unes parmi les plus grandes se rapprochent de celles des petits ions.

Cette remarque soulève une question intéressante, quant à l'action ionisante exercée par le radium et les rayons de Röntgen sur l'air ordinaire. On sait que le nombre des petits ions produits est toujours très faible par rapport au nombre des molécules d'air rencontrées par la perturbation (surface de l'onde solitaire dans le cas des rayons de Röntgen). Ce fait pourrait s'expliquer par une granulation de l'air, antérieure à l'action ionisante; celle-ci porterait alors sur les granules et non sur les molécules. Mais l'ensemble des recherches sur les petits ions est peu en accord avec cette hypothèse. Nous avons cherché à voir si l'air soumis aux actions qui le débarrassent le mieux des centres neutres (filtration, chauffage, etc.) devient moins apte à l'ionisation par le radium. Nous n'avons constaté aucun effet de ce genre. Rappelons cependant que, dans ses recherches sur la condensation des vapeurs dans les gaz, M. Barus a été amené à admettre la formation spontanée et presque immédiate de nouveaux centres de condensation dans l'air qui en avait été primitivement débarrassé.

CHAPITRE IX.

Poussières en suspension. Diffusion et examen optique.

On sait que les poussières fines peuvent rester en suspension dans les liquides en formant un ensemble relativement stable, quand le diamètre des particules diminue et se rapproche, d'une manière que les spécialistes considèrent aujourd'hui comme continue, des véritables solutions colloïdales.

La diffusion éprouvée par la lumière d'un faisceau convergent décèle la présence de particules au sein des liquides qui ne sont pas optiquement vides et permet, grâce aux procédés ultramicroscopiques, d'apercevoir individuellement les centres lorsqu'ils sont assez gros.

Dans les gaz on peut faire des observations analogues : des particules très fines peuvent rester en suspension fort longtemps.

Diffusion. — Quand ces particules sont solides, deux causes au moins tendent à les faire disparaître du sein du gaz : la pesanteur et la diffusion aux parois.

Dans un gaz tranquille, la pesanteur communique à une sphère de $0^{\mu},1$ de diamètre une vitesse de chute de l'ordre de 1^{mm} à l'heure.

Quant à la diffusion aux parois, elle s'effectue par le mécanisme suivant : les forces de cohésion fixent aux parois les particules qui s'en sont suffisamment approchées. Il en résulte que le milieu s'appauvrit en particules au voisinage des parois ; l'agitation thermique du gaz tend à rétablir l'homogénéité d'autant plus vite que la température est plus élevée ; d'où une diffusion continue.

L'effet de fixation est d'autant plus marqué que les corps en contact sont moléculairement plus différents. Au contact solide-gaz, ou au contact liquide-gaz, la tendance à la

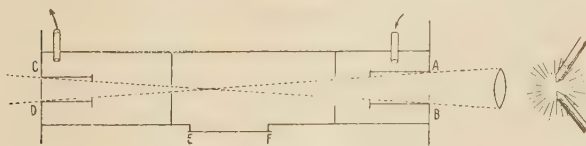
fixation est plus énergique qu'au contact solide-liquide : dans les suspensions liquides par exemple, les particules s'accumulent à la surface libre plutôt que contre les parois.

Dans le cas des gaz, nous avons tenté de mesurer, par une méthode analogue à celle que Townsend a appliquée aux petits ions, le coefficient de diffusion des gros centres. Le gaz passait dans un diffuseur spécial composé d'un faisceau de 250 tubes capillaires de 50^{cm} de longueur. On comparait les indications de l'électromètre à l'entrée et à la sortie du diffuseur. Des complications résultant de la perte de pression que subit le courant gazeux par suite de son passage à travers les orifices très étroits, ainsi que la petitesse extrême du coefficient à mesurer ($K = 0,00055$ environ), ne nous ont pas permis de considérer ces expériences comme de véritables mesures. Elles ont cependant permis de vérifier que le coefficient de diffusion décroît avec la mobilité à peu près proportionnellement et qu'il augmente rapidement avec la température.

Examen optique. — La diffusion de la lumière peut mettre en évidence dans les gaz des agrégations plus petites peut-être que dans les liquides, à cause de la différence plus grande des indices des poussières et du milieu.

C'est dans cet ordre d'idées que nous avons réalisé un appareil très simple pour observer le faisceau d'un arc

Fig. 23.



AB, CD, EF, parties vitrées.

dans un tube parcouru par le gaz à étudier. La figure 23 en montre la disposition ; des diaphragmes et le vernis mat intérieur permettent d'éviter autant que possible

les réflexions diffuses sur les parois et d'observer sur fond noir.

Dans le cas des liquides, la méthode du faisceau diffusé est plus sensible que l'observation ultramicroscopique ; elle révèle la structure discontinue du milieu alors qu'il contient trop peu de granules pour qu'on puisse aisément les voir ou lorsque ces granules ont un diamètre trop faible (inférieur à 10^{μ}) pour que leur ensemble soit résoluble avec les plus forts éclairages employés.

Dans le cas des gaz nous pensons aussi que le faisceau peut révéler des particules que ni l'électromètre, si elles sont chargées, ni l'ultramicroscope ne pourraient déceler.

Nous avons examiné, au moyen de ce procédé, les gaz d'étincelle et les gaz de barbotage.

Gaz d'étincelle. — L'air sec et filtré passe sur l'étincelle d'une bobine d'induction, puis dans l'appareil dont nous venons de parler ; l'étincelle, longue d'environ 1^{mm} , est faiblement condensée à l'aide d'une petite bouteille de Leyde.

En employant des électrodes de différents métaux on observe toujours un faisceau visible grâce à la diffusion de la lumière sur les particules ; le sodium, le thallium, le plomb, l'étain, le bismuth donnent un faisceau intense ; le zinc, le fer, l'aluminium, le cuivre, le platine, un faisceau plus faible.

Dans le cas du sodium, si l'air est humide, les particules fixent de l'eau et tendent à devenir de véritables gouttelettes : ce fait pourrait peut-être être rapproché des propriétés condensatrices de l'émanation du radium, signalées par M^{me} Curie, si l'on songe que les analogies chimiques du radium le font placer à côté des métaux alcalino-terreux.

Gaz de barbotage. — Nous savons (p. 43) que la mobilité des ions produits par le barbotage de l'air dans les solutions salines diminue à mesure que la concen-

tration augmente, en tendant vers la mobilité des gros ions. L'observation du faisceau confirme ce résultat; la quantité de lumière diffusée, liée au nombre et à la grosseur des particules, augmente très nettement quand on ajoute à l'eau de faibles quantités de sels. Rappelons aussi qu'en dirigeant ces gaz dans un bec Bunsen, on peut obtenir de très belles flammes colorées.

PHÉNOMÈNES OBSERVÉS AVEC L'ÉCLAIRAGE LATÉRAL.

L'examen ultramicroscopique va nous amener à des constatations tout à fait intéressantes.

Les expériences de Zsigmondy l'ont conduit à admettre un diamètre de l'ordre de $10^{\mu\mu}$ pour les plus fines particules visibles individuellement à l'ultramicroscope; des traînées lumineuses irrésolubles peuvent être composées de corps encore plus petits, si bien qu'il peut être permis de penser que les molécules au moins les plus complexes peuvent diffuser la lumière.

La formule de Stokes, d'autre part, évaluée à une vingtaine de $\mu\mu$ le diamètre des particules supposées sphériques qui se déplaceraient dans le champ électrostatique avec une vitesse égale à la mobilité des gros ions: il s'ensuit que ces ions devraient pouvoir être vus dans un faisceau lumineux et même distingués individuellement par voie ultramicroscopique si leurs dimensions atteignent le chiffre que nous venons de citer.

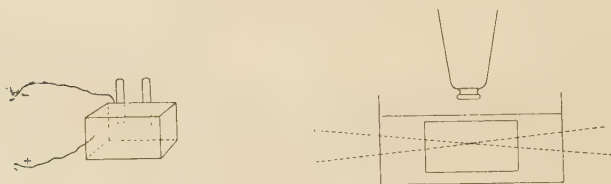
En fait, une expérience déjà ancienne de Zéléný montre que des filets de fumée de chlorhydrate d'ammoniaque ne sont pas déviés dans un champ faible, mais s'incurvent vers les électrodes quand on fait agir des rayons de Röntgen sur le gaz qui les entoure. Cette expérience a été donnée comme mettant en évidence les courants gazeux produits par le déplacement des petits ions,

M. E. Bloch, dans sa thèse sur l'émanation du phosphore, a discuté cette expérience et montré que, si le champ devient suffisant pour que des mobilités de l'ordre de celles des gros ions puissent se manifester, on voit les fumées contenues dans le gaz du phosphore dévier et tendre à se bifurquer vers les électrodes : ce résultat qui se produisait dans un champ uniforme a conduit M. Bloch à identifier les poussières avec les ions du phosphore, et a confirmé la présence de charges de faible mobilité et des deux signes au sein du gaz.

On peut aller plus loin : les fumées ordinaires sont en général résolubles en examinant sous un faible grossissement un faisceau lumineux condensé qui les traverse ; c'est ce qu'ont fait Zsigmondy, puis Puccianti et Viguzzi, qui ont noté les particularités et l'intensité du mouvement brownien dans ce cas, et même mis en évidence des oscillations dues à des ondes sonores.

J'ai complété l'appareil en ajoutant, à la cuve qui contient les gaz, deux faces métalliques opposées entre lesquelles on peut établir un champ électrostatique (*fig. 24*) ; le tout est immergé dans un bain d'huile de

Fig. 24.



vaseline qui évite d'une façon satisfaisante le trouble dû aux mouvements thermiques de convection. La cuve à gaz peut avoir comme dimensions quelques centimètres de longueur sur un carré de 1^{cm} de côté de section. Pour les expériences sur les ions de faible mobilité, un champ de 100 volts par centimètre convient, ainsi qu'un grossis-

sement d'une vingtaine de diamètres. Le faisceau lumineux doit être à la fois intense et étroit.

La cuve étant remplie par exemple de fumée de tabac desséchée, on observe nettement les phénomènes suivants :

Les particules sont visibles sous la forme de points blancs brillants animés de vifs mouvements browniens, et l'ensemble reste immobile si les conditions thermiques sont réalisées, ce à quoi on parvient assez facilement ⁽¹⁾.

On établit le champ et l'on voit une partie des granules aller dans le sens du champ, une autre en sens contraire, tandis qu'une troisième fraction ne se transporte pas : ce sont les gros ions positifs, négatifs et les centres neutres ⁽²⁾.

L'application du champ a pour effet d'amener au bout de peu de temps la disparition des centres chargés, qui atteignent les parois des électrodes et y restent attachés ; on voit qu'en effet après quelques minutes les particules restantes sont celles qui n'obéissent pas au champ.

Soumettons ensuite le gaz aux rayons du radium ; l'expérience électrométrique (p. 23 et 25) nous a montré qu'alors une partie des centres neutres se chargent et se transforment en gros ions des deux signes.

Le microscope confirme les résultats de l'électromètre ; une fraction des anciennes particules neutres se montre sensible au champ après exposition aux rayonnements ionisants.

(1) La formule de Stokes montre qu'une gouttelette de brouillard du rayon de 5μ tombe dans l'air tranquille avec une vitesse de 3 mm : sec (Bouasse). Il est facile de constater, par le fait que les particules observées au microscope restent au point et ne paraissent pas tomber, que leur vitesse de chute est au moins 2000 fois plus faible et leur diamètre, qui varie comme la racine carrée, *au moins* 20 à 50 fois inférieur à 5μ . Nous retombons bien sur des grosseurs ultramicroscopiques et même probablement sur des diamètres inférieurs à $80\mu\mu$ ou $100\mu\mu$.

(2) Rappelons que les granules des solutions colloïdales liquides sont tous transportés par le courant, et tous dans le même sens.

Toute une série d'applications intéressantes découle de ce mode d'observation.

Ainsi la mobilité peut se mesurer directement, en déterminant le temps que les ions mettent à parcourir un espace linéaire connu dans le champ du microscope : l'ordre de grandeur des phénomènes se prête très bien à cette mesure.

On peut suivre la répartition des centres au voisinage des électrodes, ainsi que les fronts d'ions s'avancant dans le même sens ; on peut balancer le champ et suivre les trajectoires et l'oscillation des centres ; on peut enfin étudier directement les causes qui peuvent charger des particules en suspension dans un gaz.

Nous avons jusqu'à présent supposé que la cuve était remplie de fumée de tabac, mal définie dans sa composition et susceptible de donner des produits de condensation gênants. Si nous en avons parlé tout d'abord, c'est qu'elle présente, très simplement et d'une façon très nette, tous les phénomènes que nous venons de décrire, en se prêtant à une observation facile à cause de l'éclat de ses particules.

Mais on peut examiner de la même façon de l'air sec et filtré chargé de poussières en passant sur une étincelle entre pointes métalliques ; là, les particules paraissent avoir une grosseur homogène, sont en général fines, et surtout ne sont pas mélangées à des vapeurs condensables.

Les centres ont une grande tendance à rester attachés aux parois qu'ils rencontrent par diffusion ou par la lente action de la pesanteur ; on peut détacher ces parois et les examiner avec un fort grossissement par le procédé ultramicroscopique de MM. Cotton et Mouton : le nombre des grains brillants que le champ du microscope contient peut être évalué par un procédé analogue à ceux qui servent à connaître le nombre des globules sanguins.

Déjà en examinant les fumées, Zsigmondy avait estimé

que les particules y étaient distantes de 10^6 à 20^6 , ce qui donne l'ordre du milliard par centimètre cube; les nombres qu'on obtient par le procédé que je viens d'indiquer sont du même ordre. On peut déduire de leur connaissance une mesure de la charge de chaque centre, si l'on connaît la quantité d'électricité de chaque signe transportée par centimètre cube du gaz primitif, ce qui est facile avec un électromètre étalonné en quantités d'électricité.

Nous nous proposons de tenter cette mesure, qui aurait un grand intérêt au point de vue de la comparaison de la charge trouvée avec la charge atomique 3.10^{-10} unité électrostatique C. G. S. qu'ont fournie les expériences de Wilson et de J.-J. Thomson pour les ions des rayons de Röntgen.

Enfin, le résultat qui n'est pas le moins important de tout ceci, c'est qu'on peut arriver à voir directement les centres qui produisent la conductibilité des gaz chargés en gros ions.

Si l'on songe que les propriétés électriques de ces gaz peuvent se déduire de celles des gaz soumis aux rayons de Röntgen, en supposant simplement une mobilité plus faible aux agglomérations, on ne peut s'empêcher de voir là un argument indirect, mais frappant, en faveur de la théorie même qui attribue la conductibilité des gaz en général à des ions des deux signes, chargés individuellement et obéissant dans leur ensemble aux lois de l'Électrostatique.

Conclusions.

En résumé nous avons été amené, par les recherches qui viennent d'être exposées, à formuler les conclusions suivantes :

I.

a. Un mélange d'air et d'hydrogène, ayant passé dans un tube chauffé au rouge, contient des centres matériels chargés des deux signes ayant la mobilité des gros ions.

b. Cette propriété est liée à la formation possible de produits condensables, tels que l'eau dans l'expérience précédente ; elle manque lorsque les produits formés sont tous gazeux à froid, dans le cas par exemple d'un mélange d'air et d'oxyde de carbone.

c. La nature de la conductibilité du gaz provenant de la flamme d'oxyde de carbone, brûlant dans l'air sec et filtré, confirme ces résultats ; il ne se produit que des petits ions que nous avons décelés au moyen d'une méthode spéciale.

II.

a. Il peut exister en suspension, dans un gaz, des centres neutres susceptibles de se transformer en gros ions par exposition à divers agents producteurs de petits ions (radium, rayons X, lumière ultraviolette, flamme d'oxyde de carbone).

b. Ces centres existent en particulier dans les gaz de flamme, les gaz de barbotage de certains liquides (benzine, etc.). On peut aussi en obtenir par la chauffe de corps légèrement humides.

c. Entre autres caractères, ils possèdent la propriété très remarquable de se charger par barbotage dans les milieux liquides ionisants (eau, solutions salines, alcools).

III.

a. L'étude du barbotage des gaz dans les liquides, après nous avoir permis de citer quelques nouveaux traits du phénomène, nous a conduit à diviser les liquides en deux groupes, ayant des propriétés nettement distinctes suivant qu'ils cèdent aux gaz des ions chargés ou des centres neutres.

b. L'action du radium sur les gaz sortant des liquides ionisants présente la particularité intéressante de diminuer le nombre des centres chargés.

c. Enfin nous avons découvert et étudié la propriété qu'ont ces liquides de charger les centres neutres préalablement existants dans le gaz.

IV.

En examinant à l'ultramicroscope les poussières en suspension dans un gaz conducteur soumis à l'action d'un champ électrostatique, nous avons pu observer la présence d'ions des deux signes et de centres neutres, mesurer leur mobilité et retrouver les résultats déjà fournis par la méthode électrométrique.

Nous avons déjà insisté sur l'appui que ce mode d'observation apporte à la théorie des ions.

Il me reste à exprimer ma reconnaissance à M. Langevin pour l'accueil qu'il a bien voulu me faire au Collège de France et surtout pour les conseils précieux qui m'ont souvent guidé dans mon travail, et je ne veux pas

oublier de remercier MM. Brizard et Jurien de la Gravière
de leur aimable concours.

Vu et approuvé :

Paris, le 20 juillet 1908.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

PAUL APPELL.

Vu et permis d'imprimer :

Paris, le 20 juillet 1908.

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

L. LIARD.



SECONDE THÈSE.

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Ébullioscopie et cryoscopie (d'un composé déterminé
fourni par le Laboratoire de Chimie organique).

Vu et approuvé :

Paris, le 20 juillet 1908.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

PAUL APPELL

Vu et permis d'imprimer :

Paris, le 20 juillet 1908.

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

L. LIARD.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,

42216 Quai des Grands-Augustins, 55.
